

Intra-MARIO: 6LoWPAN에서 PAN 내부 핸드오버를 최적화된 경로로 지원하기 위한 이동성 프로토콜

(Intra-MARIO: Mobility
Management Protocol to Support
Intra-PAN Handover with Route
Optimization for 6LoWPAN)

하민근[†] 김성훈[†]
(Minkeun Ha) (Seong Hoon Kim)

홍성민[†] 김대영^{**}
(Sungmin Hong) (Daeyoung Kim)

여현^{***}
(Hyun Yoe)

요약 표준화된 IP기반 무선 센서 네트워크(IP-WSN)

· 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원 사업(NIPA-2010-(C1090-1021-0009))과 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0018859)
· 이 논문은 2010 한국컴퓨터종합학술대회에서 'Intra-MARIO: 6LoWPAN에서 Intra-PAN Handover를 최적화된 경로로 지원하기 위한 이동성 프로토콜'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

[†] 학생회원 : KAIST 전산학과
minkeun.ha@kaist.ac.kr
sbkim08@kaist.ac.kr
ghitsh@kaist.ac.kr

^{**} 정회원 : KAIST 전산학과 교수
kimd@kaist.ac.kr

^{***} 정회원 : 순천대학교 정보통신공학과 교수
yhyun@sunchon.ac.kr

논문접수 : 2010년 8월 6일

심사완료 : 2010년 10월 13일

Copyright©2010 한국정보과학회: 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제16권 제12호(2010.12)

프로토콜인 6LoWPAN에서 이동성 지원은 중요한 기술로써 인식되고 있다. IP-WSN의 응용이 다양화 되어감에 따라 센서 네트워크 기술은 헬스 케어, 감시 정찰 시스템과 같이 실시간성을 요구하는 응용에 적용되고 있으며, 이러한 응용들을 지원하기 위해 IP-WSN은 빠르고 끊김 없는 핸드오버를 지원하여야 한다. 6LoWPAN에서 이동성을 지원하기 위하여 인터넷 표준 이동성 프로토콜인 MIPv6를 적용하기 위한 연구가 IETF 6LoWPAN WG에 제안되었지만, 이 연구는 이동형 노드(Mobile Node: MN)의 핸드오버 지연을 줄이지 못하였다. 또한, Intra-PAN 핸드오버 프로토콜인 LoWMob은 MN의 이동 위치를 예측하여 이를 설정하여야 하는 제약이 있다. 본 논문은 6LoWPAN에서 빠르고 끊김 없이 Intra-PAN 핸드오버를 지원하기 위한 이동성 프로토콜(Intra-MARIO)을 제안한다. Intra-MARIO에서 MN의 부모 노드는 MN의 핸드오버 정보를 네트워크에 미리 설정하여, 이동 후에 발생하는 핸드오버 지연을 줄였다. 또한, MN의 이동에 따른 루트 최적화 문제를 해결하여 이동 후에도 최적화된 경로로 통신이 가능하도록 지원한다. 본 논문에서는 이동에 따른 Intra-PAN 핸드오버의 시그널링 부하를 분석하였으며, 20ms 이하의 핸드오버 지연을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

키워드 : 6LoWPAN, 이동성 프로토콜, 핸드오버

Abstract Mobility management is one of the most important research issues in 6LoWPAN. Since the IP-WSN application domain is expanded to real-time applications such as healthcare and surveillance systems, a fast and seamless handover becomes an important criterion in 6LoWPAN. However, a draft of IETF 6LoWPAN WG for mobility support does not decrease handover delay. Although LoWMob supports a fast intra-PAN handover, it can be supported when the infrastructure node has the location information of the other nodes in the mobile node's moving direction. In this paper, we propose a fast and seamless mobility protocol to support intra-PAN handover, named intra-MARIO. In intra-MARIO, a parent node of the mobile node preconfigures its handover to the PAN when the parent node detects its movement, thereby reducing the handover delay. Since intra-MARIO also supports route optimization, the mobile node can communicate with its corresponding nodes through the optimal route. In this paper, we analyze the signaling cost and evaluates that the handover can be completed in 20ms by simulation.

Key words : 6LoWPAN, Mobility Protocol, Handover

1. 서론

표준화된 IP기반 무선 센서 네트워크(IP-WSN) 프로토콜인 6LoWPAN[1,2] 연구에 있어서 이동성 지원은 중요한 기술로써 연구가 진행되고 있다. 현재 IP-WSN은 무선 센서 네트워크와 IPv6 기술을 통합하여 글로벌 센서 네트워크 인프라로써 널리 인식되고 있으며, 헬스

케어 시스템, 감시 정찰 시스템과 같이 실시간성을 요구하는 다양한 응용에 적용되고 있다. 이러한 응용에서 발생하는 핸드오버 지연은 이동형 노드(MN)가 인터넷에 액세스할 수 없는 시간을 증가시키며, 패킷 손실을 발생시킨다. 그러므로 빠르고 끊임없는 핸드오버의 지원은 6LoWPAN 연구에 있어서 중요한 이슈이다.

6LoWPAN에서 이동성 지원을 위하여 인터넷 표준 이동성 프로토콜인 MIPv6를 6LoWPAN에 적용하기 위한 연구[3]가 IETF 6LoWPAN WG[2]에 제안되었지만, 이 연구는 핸드오버 지연을 줄이기 위한 방법을 고려하지 않았다. 또한 빠른 Intra-PAN 핸드오버를 지원하기 위하여 제안된 LoWMob[4]은 핸드오버 지연을 줄이기 위하여 MN의 부모 노드가 MN의 이동 후 위치를 예측하여 새로운 부모 노드에 핸드오버 정보를 미리 설정한다. 하지만, MN의 핸드오버를 미리 설정하기 위해서는 MN의 이동 방향에 어떠한 후보 부모 노드가 있는지 알고 있어야 한다. 즉, MN의 부모 노드는 다른 노드들의 위치 정보를 알고 있어야 한다는 제약사항이 있다.

본 논문에서는 Intra-PAN 핸드오버를 빠르고 끊임없이 지원하기 위한 이동성 프로토콜(Intra-MARIO)을 제안한다. Intra-MARIO는 핸드오버 지연을 줄이기 위해, 통신 링크가 끊기기 전에 MN의 핸드오버를 네트워크에 미리 설정하는 소프트 핸드오버 방식을 사용한다. 또한, Intra-MARIO는 핸드오버 후에도 트리 기반 라우팅 프로토콜인 HiLoW[5]에서 MN의 라우팅 최적화를 지원할 수 있게 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2절에서는 기존에 제안된 이동성 프로토콜에 대한 주요 내용과 특징을 분석하며, 제3절에서는 이동성을 지원하기 위하여 수정한 HiLoW 프로토콜인 M-HiLoW와 6LoWPAN의 Intra-PAN 핸드오버를 지원하기 위한 새로운 프로토콜인 Intra-MARIO를 설명한다. 제4절에서는 제안된 프로토콜의 수학적 분석과 시뮬레이션을 통한 핸드오버 성능을 보이고, 마지막으로 제5절에서는 논문의 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

본 절에서는 6LoWPAN에서의 이동성 지원을 위하여 제안된 기존 연구들의 주요 내용과 특징을 분석한다.

인터넷 표준 이동성 프로토콜인 MIPv6를 6LoWPAN에 적용하기 위한 연구[3]가 IETF 6LoWPAN WG에 제안되었다. 이 연구는 MIPv6 패킷의 압축 기법을 제안하였으며, 패킷의 경량화를 통하여 6LoWPAN에서 이동성을 지원한다. 하지만 MIPv6의 핸드오버 수행 과정을 그대로 적용하였기 때문에 MIPv6와 같이 핸드오버 지연을 줄이지 못하였다. 또한, 6LoWPAN에서 홈 에이전트(HA)에 대한 정의가 없으며, 루트 최적화를 위해서

모든 상대 노드와 Return Routeability(RR) 과정을 거치기 때문에 그 오버헤드가 크다.

LoWMob은 6LoWPAN에서 Intra-PAN 핸드오버를 지원하기 위한 이동성 프로토콜로서 MN의 액세스 포인트가 되는 부모 노드가 MN의 이동을 감지하여 이동 경로에 있는 새로운 부모 노드에 이를 미리 알리고, 새로운 부모 노드는 게이트웨이에 MN의 위치 정보를 전달하여 위치 정보를 갱신한다. 또한, 새로운 부모 노드는 MN에 Hello 패킷을 보내며 이를 받은 MN는 새로운 부모 노드에 연결된다. LoWMob은 이동성 지원을 위해 MN에 부가적인 구현이 필요하지 않다는 장점이 있지만, 부모 노드가 MN의 위치를 추적하여야 하며, 이동 구간에 있는 모든 부모 노드 후보들의 위치를 알고 있어야 한다. 즉, 모든 인프라 노드는 다른 노드들의 위치 정보를 가지고 있어야 하는 오버헤드가 있다.

3. 제안하는 intra-PAN 이동성 프로토콜

본 절에서는 6LoWPAN의 트리 기반 라우팅 프로토콜인 HiLoW를 소개하고, HiLoW에서 이동성을 지원할 수 있도록 수정한 M-HiLoW와 6LoWPAN에서 빠르고 끊임 없는 Intra-PAN 핸드오버를 지원하기 위한 Intra-MARIO 프로토콜을 설명한다.

3.1 Mobility Enabled HiLoW(M-HiLoW)

HiLoW[5]는 트리 기반 계층적 주소 할당과 주소 기반 트리 라우팅을 지원하기 위한 프로토콜이다. HiLoW는 자식 노드의 최대 개수를 나타내는 MC 값을 파라미터로 요구하며, 라우팅 테이블이 필요하지 않다. HiLoW에서 자식 노드의 주소는 다음 식 (1)에 따라 결정된다. (CA1: 첫 번째 자식 노드의 주소, CA2: 두 번째 자식 노드의 주소, PA: 부모 노드의 주소)

$$\begin{aligned} \text{If } MC=2, \\ CA1 = MC \times PA + 1 \\ CA2 = MC \times PA + 2 \end{aligned} \quad (1)$$

또한, HiLoW는 패킷의 전달을 위해서 식 (1)을 이용하여 경로를 결정하며, 그 알고리즘은 다음과 같다. 패킷의 목적지가 자손 노드가 아니라면 부모 노드로 전달하며, 목적지가 자손 노드라면 이 패킷을 자식 노드에게 전달한다. 하지만, 이러한 HiLoW는 MC 값으로 최대 자식 노드의 개수를 제한하기 때문에 이동성이 있는 동적 네트워크 환경에 적합하지 않다. 그 예로 만약 MC 값이 2로 설정되었고 네트워크가 완전 이진 트리로 형성되었다면, MN는 리프 노드에만 연결될 수 있으며 노드 연결성이 극히 제한된다. 이러한 제약사항을 해결하여 이동성이 있는 동적 네트워크에서 트리 기반 계층적 주소 할당과 라우팅을 지원하는 M-HiLoW를 제안한다.

알고리즘 1은 M-HiLoW의 주소 할당 알고리즘은 보

여준다. M-HiLoW에서는 MN의 연결이 MC 값에 제약 받지 않도록 하기 위하여 16비트 주소의 최상위 비트(MSB)로 고정형 노드(SN)와 MN를 구분하여 주소를 할당한다(SN:0, MN:1). 또한, SN의 주소 할당은 HiLoW와 같이 식 (1)을 이용하여 하며, MN의 주소 할당은 주소 풀(Address Pool)을 이용한다.

$$AddressPool = \{x | MSB = 1 \& descendant_address_set\} \quad (2)$$

각 SN은 MN의 주소 할당을 위하여 식 (2)와 같이 주소 풀을 관리한다. 즉, 0-2(MSB:0, 주소:2)의 주소를 가진 SN의 경우에는 1-2, 1-5, 1-6, 1-11, ...의 주소를 주소 풀에 가지고 있다. 그림 1은 M-HiLoW에서 MN에 주소를 할당하는 예를 보여준다. 그림과 같이 MC가 2로 설정되어 있고, MN가 SN(0-2)를 통해 네트워크에 참여한다면, SN은 주소 풀에서 가장 작은 주소인 1-2를 MN에게 할당한다. 이때, MN의 부모 노드가 된 SN은 사용된 주소를 각자의 주소 풀에 가지고 있는 모든 노드들에 주소 사용을 알려 각자의 주소 풀을 갱신하도록 하며 이를 통해 해당 주소의 중복 할당을 막을 수 있다. 이를 위한 RSV_Noti 패킷은 전달 경로의 중간 노드들이 패킷의 내용을 처리하고 목적지로 전달하도록 새롭게 정의한 Dispatch 헤더인 LOWPAN_MCP로 설정되며, MN에 할당된 주소와 MSB를 제외한 주소가 같은 SN(MN에 할당된 주소의 MSB를 0으로 바꾼 주소)와 PC를 목적지로 보내진다. 이 과정에서 자신의 자식 노드로부터 RSV_Noti 메시지를 받은 노드는 해당 주소에 대한 바인딩을 만들어 바인딩 캐시에 저장한다.

M-HiLoW의 라우팅은 다음 알고리즘 2와 같이 동작한다. SN가 목적지 주소의 MSB 값이 0인 패킷을 수신하면 이는 기존과 같이 식 (1)을 이용하여 해당 노드로 패킷을 전달하며, MSB 값이 1인 패킷을 수신하면 바인딩 캐시를 검색하여 해당 바인딩을 찾는다. 만약 해당 바인딩이 있다면 바인딩에 따라 패킷을 전달하며, 그렇지 않다면 SN은 부모 노드로 패킷을 전달한다.

3.2 Intra-MARIO 프로토콜

6LoWPAN에서 빠르고 끊임 없는 Intra-PAN 핸드오버를 지원하기 위한 Intra-MARIO는 MN의 통신 링크가 깨지기 전에 핸드오버를 설정하는 소프트 핸드오버 방식을 사용한다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 MN가 이동을 하게 되면 SN는 이를 감지하여 MN의 정보(노드ID, IP주소)를 담은 Handover-Preconfigure 메시지를 전송함으로써 핸드오버를 미리 설정한다.

그림 2는 intra-MARIO를 이용한 Intra-PAN 핸드오버의 예를 보여준다. MN의 이동을 부모 노드가 탐지하면 부모 노드는 Handover-Preconfigure 메시지를 PC에게 보내어 MN에 대한 바인딩을 삭제하도록 한다. 이때, 이 메시지는 LOWPAN_MCP로 설정하여 PC까지

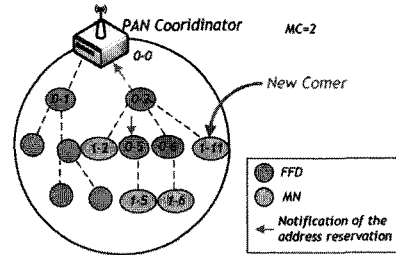


그림 1 M-HiLoW 주소 할당 방법

```

M-HiLoW Address Allocation Algorithm
1. Address pool = {1-myaddr, 1-children's address, ...}
2. IF (amINewSN)
3.   DO
4.     Receive the used address list from its parent node
5.   IF (new mobile node is attached)
6.     DO
7.       Assign(the least value address in its AddressPool)
8.       Send RSV_Noti message to my PC and 0-α
9.   IF (received RSV_Noti by others)
10.    DO
11.      Set address Unavailable(1-α)
12.      CreateBinding(1-α)
13.      IF (dst is not me)
14.        DO
15.          Forward Packet to next hop
    where
    a. α = address except MSB bit
    b. RSV_Noti = Reservation Notification message
    c. dst = destination address
    d. PC = Pan coordinator
    
```

알고리즘 1 M-HiLoW의 주소 할당 알고리즘

```

M-HiLoW Routing Algorithm
1. Address pool = {1-myaddr, 1-children's address, ...}
2. IF (IsMyPacket)
3.   DO
4.     Deliver the packet to my upper layer
5.   ELSE IF (MSB in dst = 0)
6.     DO
7.       Forward the packet by using HiLoW routing
8.   ELSE IF (MSB in dst addr = 1)
9.     DO
10.    IF (no binding)
11.      DO
12.        Forward the packet to parent node
13.    ELSE
14.      DO
15.        Forward the packet according to the binding
    where
    a. dst = destination address
    
```

알고리즘 2 M-HiLoW의 라우팅 알고리즘

의 중간 노드들도 이 메시지를 통하여 바인딩 갱신을 수행하도록 한다. 이후에 MN가 새로운 부모 노드에 연결되면 자신의 주소에 대한 바인딩을 PC로 보내어 해당 경로에 있는 SN이 바인딩을 생성하도록 한다. 그림 3은 이러한 핸드오버 절차를 보여준다. 이 때, 바인딩 메시지는 [6]에서 정의한 바인딩 메시지 압축 방법을 통하여 경량화된 메시지를 사용한다.

4. 성능 평가

4.1 시그널링 부하의 분석

Intra-MARIO의 성능을 분석하기 위해서 본 논문

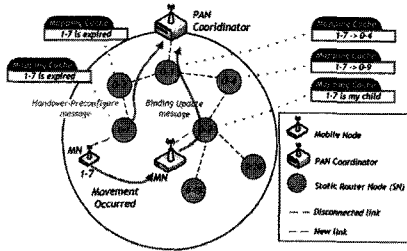


그림 2 Intra-MARIO 핸드오버의 예

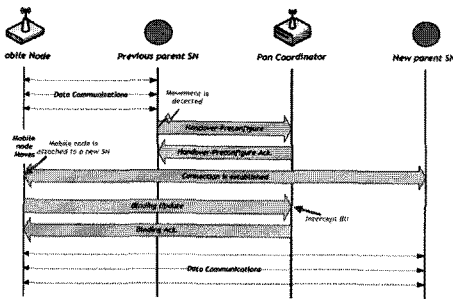


그림 3 Intra-MARIO의 핸드오버 수행 절차

서는 Intra-PAN 핸드오버의 시그널링 부하를 계산하였다. Intra-MARIO에서 핸드오버 시에 발생하는 시그널링 부하는 Handover-Preconfigure와 바인딩 메시지 교환, 그리고 라우팅으로 이루어진다. 본 논문에서는 시그널링 부하 계산식[7]을 Intra-MARIO에 맞도록 수정한 식 (3)~(5)을 이용하여 시그널링 부하를 계산하였다. 계산에 사용된 각 파라미터는 표 1을 통하여 설명하였다.

$$C_{intra} = C_{intra-pre} + C_{intra-binding} \quad (3)$$

$$C_{intra-pre} = (H_{MN-GW} - 1) \cdot [\tau \cdot (P_{PU} + P_{PA}) + c] \quad (4)$$

$$C_{intra-binding} = H_{MN-GW} \cdot [\tau \cdot (P_{BU} + P_{BA}) + c] \quad (5)$$

그림 4는 MN가 부모 노드에 연결되어 있는 평균 시간에 따른 총 시그널링 부하를 나타낸다. 부모 노드와 연결 되어 있는 평균 시간이 짧을수록 MN의 이동성이 많은 것을 나타내며, Intra-PAN 핸드오버가 더욱 빈번히 일어나는 것을 의미한다. Intra-MARIO의 총 시그널링 부하의 41%는 핸드오버를 미리 설정하는데 드는 추가적인 부하이다. 하지만 이를 통하여 바인딩 메시지 교환에 따른 부하를 줄일 수 있다. 또한, 핸드오버 이후에 라우팅 최적화를 위한 추가적인 과정이 필요 없기 때문에 라우팅 최적화를 위한 시간과 시그널링 부하를 줄일 수 있다.

4.2 Intra-MARIO 핸드오버 성능 평가

본 논문에서는 Intra-MARIO의 성능 측정을 위하여 Qualnet 시뮬레이터를 사용하였으며, 시뮬레이션 환경은

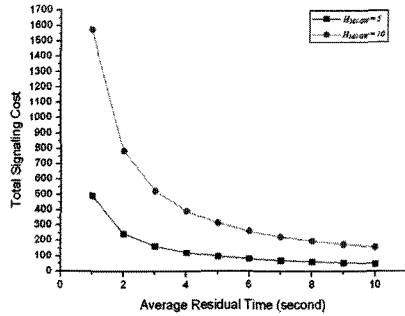


그림 4 Intra-MARIO의 평균 연결 시간에 따른 시그널링 부하의 변화

표 1 시그널링 부하 분석에 사용된 파라미터

| Symbol | Meaning |
|----------------|---|
| C_{intra} | Signaling cost of intra-mobility. |
| $t_{residual}$ | Average residual time of the link. |
| H_{x-y} | The number of hops from x to y (We assume that the hops from GW and HA is 10.) |
| P_x | Packet size of x |
| τ, κ | Transmission costs in wired and wireless link, respectively(wired=1, wireless=2[8]) |
| c | Processing costs for routing and binding (30[9]) |

다음과 같이 설정하였다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 1,500x1,500m² 크기의 지형에 3개의 고정형 노드로 이루어진 두 PAN을 배치하였으며, 이 두 PAN의 랜 코디네이터는 유선으로 인터넷에 연결된다. 또한, 두 PAN 사이에 10개의 라우터가 존재하며, MN는 2개의 다른 PAN을 방향 전환 없이 10m/s와 20m/s의 속도로 이동한다. 이 때 MN는 두 번의 Intra-PAN 핸드오버와 한번의 Inter-PAN 핸드오버를 수행하게 된다. 여기서 Inter-PAN 핸드오버는 Inter-MARIO[10]를 통하여 핸드오버를 수행한다. 본 시뮬레이션의 수행 시간은 90초로 설정되었으며, PAN 구성을 위한 네트워크 세팅 시간을 20초로 하였다. 본 시뮬레이션에서 핸드오버 지연 시간과 이에 따른 패킷 손실을 측정하기 위하여 인터넷에 존재하는 한 개의 상대 노드가 32바이트의 CBR 패킷을 50packets/s의 비율로 MN에게 전송한다. 본 시뮬레이션을 통하여 핸드오버 지연과 CBR 패킷의 전송에 따른 End-to-End 지연을 측정하였다.

그림 6은 MN가 CBR 패킷을 받은 시간을 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 Intra-PAN 핸드오버를 수행함에 따른 패킷의 손실이 없었으며, 10m/s와 20m/s로 이동할 때, 각각 55초경과 33초경에 Inter-PAN 핸드오버에 따른 패킷 손실만이 일어났다. 이는 Intra-PAN 핸드오버가 20ms 이하의 지연을 보인다는 것을 의미한다.

Intra-MARIO는 MN의 핸드오버가 일어나도 트리

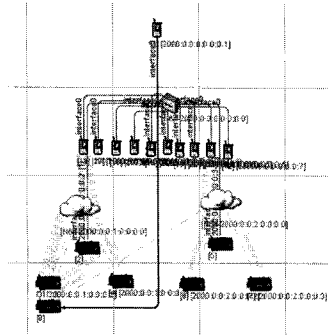


그림 5 시뮬레이션 시나리오

기반 네트워크에서 최적의 라우팅 경로를 보장한다. 그림 7에서 볼 수 있듯이, End-to-End 지연은 MN의 핸드오버 후에도 End-to-End 지연의 변화가 없음을 보여준다. 이는 MN의 핸드오버 후에도 기존 부모 노드에 패킷이 전달되지 않고 최적의 경로로 MN에게 전달된다는 것을 의미한다.

5. 결론

본 논문에서는 PAN내에서 MN가 이동할 때 발생하는 Intra-PAN 핸드오버를 빠르고 끊김 없이 지원하기 위한 이동성 프로토콜을 제안하였다. 또한, 이동성이 있는 동적 네트워크에 적합하도록 HiLoW를 수정한 M-HiLoW를 제안하였다. Intra-MARIO는 MN의 핸드오버를 미리 설정하는 방법을 사용하여 빠른 핸드오버 성능을 보였으며, 시뮬레이션을 통해 20ms 이하의 Intra-PAN 핸드오버 지연을 지원한다는 것을 검증하였다. 향후에는 MN의 이동을 빠르고 정확하게 탐지해낼 수 있는 방안을 연구하여 IP기반 무선 센서 네트워크에서 더욱 향상된 이동성을 지원할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

참고 문헌

[1] G. Mulligan, L.W. Group, "The 6LoWPAN architecture," *Proc. of the EmNets*, pp.77-82, Cork, Ireland, Jun. 2007.

[2] IETF WG 6lowpan, IPv6 over low-power WPAN (6LoWPAN), available: <http://www.ietf.org/html.charters/6lowpan-charter.html>.

[3] R. Silva and J. Sa Silva, "An Adaptation Model for Mobile IPv6 support in lowPANs," Internet-Draft, IETF, May 2009.

[4] Gargi Bag, Muhammad Taqi Raza, Ki-Hyung Kim, and Seung-Wha Yoo, "LoWMob: Intra-PAN Mobility Support Schemes for 6LoWPAN," *IEEE Sensors Journal*, vol.9, no.7, pp.5844-5877, Jul. 2009.

[5] K. Kim, S. Yoo, S. Daniel Park, and J. Lee,

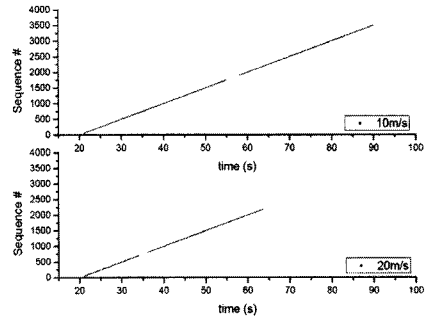


그림 6 CBR 패킷의 시퀀스 넘버와 수신 시간

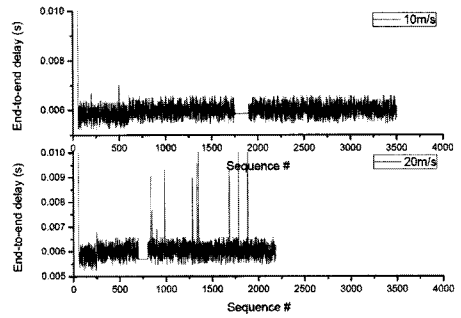


그림 7 CBR 패킷의 시퀀스 넘버와 End-to-End 지연 시간

"Hierarchical Routing over 6LoWPAN (HiLow)," Internet-Draft, IETF, Jun. 2007, draft-daniel-6lowpan-hilow-hierarchical-routing-01.txt

[6] Minkeun Ha, Sungmin Hong, Young-Joo Kim, Daeyoung Kim, "Optimal Header Compression of MIPv6 and NEMO Protocol for Mobility Support in 6LoWPAN," *Journal of KIISE; Computing Practices and Letters*, vol.16, no.1, pp.55-59, Jan. 2010. (in Korean)

[7] Jin Ho Kim, Choong Seon Hong, and Taeshik Shon, "A Lightweight NEMO Protocol to Support 6LoWPAN," *ETRI Journal*, vol.30, no.5, pp.685-695, Oct. 2008.

[8] Sangheon Pack, Minji Nam, and Yanghee Choi, "A Study On Optimal Hierarchy in Multi-Level Hierarchical Mobile IPv6 Networks," *Proc. of IEEE GLOBECOM 2004*, Dallas, USA, Nov. 2004.

[9] Abu S Reaz, Pulak K Chowdhury, Mohammed Atiquzzaman, and William Ivancic, "Signalling Cost Analysis of SINEMO: Seamless EndtoEnd Network Mobility," *Proc. of ACM/IEEE MobiArch 2006*, pp.37-42, San Francisco, USA, Dec. 2006.

[10] Minkeun Ha, Daeyoung Kim, Seong Hoon Kim, and Sungmin Hong, "inter-MARIO: A Fast and Seamless Mobility Protocol to support Inter-PAN Handover in 6LoWPAN," *Proc. of IEEE GLOBECOM 2010*, Miami, USA, Dec. 2010.