http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.4.211
JIWIT 2012-4-27

센서기반 프록시 모바일 IPv6 네트워크에서 SPIG를 이용한 비용효과적인 분산 이동성관리 기법

Cost-Effective and Distributed Mobility Management Scheme in Sensor-Based PMIPv6 Networks with SPIG Support

장순호*, 정종필**

Soonho Jang, Jongpil Jeong

요 약 한정된 자원으로 인해 개발이 더디게 진행되어오던 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)가 하드웨어 및 전원관리 기술의 발달로 인해 최근 IP를 기반으로 하는 IP-WSN으로 개발되고 있다. 그 방안으로 저 전력 장치에 IPv6를 탑재할 수 있는 6LoWPAN (IPv6 over Low power WPAN)이 주목받고 있다. 이런 IP 기반의 센서 네트워크에서는 기존 무선 센서 네트워크에서는 불가능하던 IP 기반의 기법들이 가능해진다. 6LoWPAN은 IEEE 802.15.4를 기반으로 하는 센서 네트워크에 IPv6를 지원하기 위한 기술이다. 호스트 기반의 이동성 관리 기법은 IP-WSN 에 부가적인 시그널링으로 인해 적합하지 않고, 네트워크 기반의 이동성 관리 기법이 적합하다. 따라서 본 논문에서는 다중 6LoWPAN 네트워크 환경을 고려한 PMIPv6 기반의 향상된 경로 최적화 방안을 제안한다. 6LoWPAN 도메인의 모든 SLMA(Sensor Local Mobility Anchor)는 SPIG(Sensor Proxy Internetworking Gateway)에 연결되어 6LoWPAN도메인 간 분산 이동성 제어를 수행한다. 6LoWPAN 도메인 내 모든 SLMA의 정보를 SMAG(Sensor Mobile Access Gateway)가 유지하도록 하여 신속하게 경로 최적화를 수행하도록 하였으며, SLMA에 경로 최적화 상태 정보를 SPIG로부터 수신받아 저장하여 추가적인 시그널링 없이 경로 최적화를 지원하도록 한다.

Abstract The development of wireless sensor networks (WSNs) is progressed slowly due to limited resources, but it is in progress to the development of the latest IP-based IP-WSN by the development of hardware and power management technology. IPv6 over Low power WPAN (6LoWPAN) is capable of IPv6-built low-power devices. In these IP-based WSNs, existing IP-based techniques which was impossible in WSNs becomes possible. 6LoWPAN is based on the IEEE 802.15.4 sensor networks and is a IPv6-supported technology. Host-based mobility management scheme in IP-WSNs are not suitable due to the additional signaling, network-based mobility management scheme is more suitable. In this paper, we propose an enhanced PMIPv6-based route optimization scheme which consider multi-6LoWPAN network environments. All SLMA (Sensor Local Mobility Anchor) of the 6LoWPAN domain are connected with the SPIG (Sensor Proxy Internetworking Gateway) and performs distributed mobility control for the 6LoWPAN-based inter-domain operations. All information of SLMA in 6LoWPAN domain is maintained by SMAG (Sensor Mobile Access Gateway), and then is performed the route optimization quickly. The status information of the route optimization from SPIG is stored to SLMA and it is supported without additional signaling.

Key Words : Distributed Mobility Control, Sensor-based Proxy Mobile IPv6, Wireless sensor Networks, Cost-Effective, SPIG.

*정회원, 성균관대학교 정보통신대학원 정보통신공학과
**정회원, 성균관대학교 정보통신공학부 (교신저자)
접수일자 : 2012년 6월 25일, 수정완료 : 2012년 7월 25일
게재확정일자 : 2012년 8월 10일

Received: 25 June 2012 / Revised: 25 July 2012 / Accepted: 10 August 2012
**Corresponding Author: jpjeong@gmail.com
College of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Korea

Ⅰ. 서 론

표준화된 IP 기반 무선 센서네트워크[1] (IP Wireless Sensor Network : IP-WSN) 프로토콜인 6LoWPAN (IPv6 over Low power WPAN)[2,3]은 TCP/IP를 센서네트워크 상에서 운용하는 기술로써 기존에 구축된 네트워크와의 연동성을 고려한 저 전력 무선 개인 망이다. 하지만 6LoWPAN에서도 기존의 센서 네트워크가 가지는 한정적인 자원(저 전력, 제한된 저장 공간, 작은 패킷의 크기 등)과 같은 제약사항들 역시 존재한다. 현재 IP-WSN은 무선 센서네트워크와 IPv6 기술을 통합하여 글로벌 센서 네트워크 인프라로써 널리 인식되고 있으며, 헬스케어시스템, 감시정찰시스템과 같이 실시간성을 요구하는 다양한 응용에 적용되고 있다. 이러한 응용에서 발생하는 핸드오버 지연은 이동형 노드(MN)가 인터넷에 액세스 할 수 없는 시간을 증가시키며, 패킷손실을 발생시킨다. 그러므로 빠르고 끊김 없는 핸드오버의 지원은 6LoWPAN 연구에 있어서 중요한 이슈이다.

6LoWPAN에서 이동성지원을 위하여 인터넷표준 이동성 프로토콜인 MIPv6를 6LoWPAN에 적용하기 위한 연구[4]가 IETF 6LoWPAN WG[3]에 제안되었지만, 이 연구는 핸드오버지연을 줄이기 위한 방법을 고려하지 않았다. 또한 빠른 Intra-PAN 핸드오버를 지원하기 위하여 제안된 LoWMob[5]은 핸드오버 지연을 줄이기 위하여 MN의 부모노드가 MN의 이동 후 위치를 예측하여 새로운 부모노드에 핸드오버정보를 미리 설정한다. 하지만, MN의 핸드오버를 미리 설정하기 위해서는 MN의 이동방향에 어떠한 후보 부모노드가 있는지 알고 있어야 한다. 즉, MN의 부모노드는 다른 노드들의 위치정보를 알고 있어야 한다는 제약사항이 있다.

본 논문에서는 SPMIPv6(Sensor Proxy Mobile IPv6)[7] 도메인을 관리하는 SPIG(Sensor Proxy Internetworking Gateway)를 별도로 두어 도메인 간의 이동성 제어를 관리할 수 있도록 하였다. SPMIPv6 도메인을 관리하는 SLMA(Sensor Local Mobility Anchor)와 SPIG간 비용에 PMIPv6 도메인 내에서의 이동성 비용을 합산하여 기존의 단순한 PMIPv6 도메인 내에서의 분산 이동성 제어가 아니라 PMIPv6 도메인 간의 분산 이동성 제어에 최적화됨을 보여준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 현재 도메인 간 연동기법에 대해서 설명하고, 3장에서는 도메인 내에서의 분산 제어를 확대하여 도메인 간 분산제어 기법을 제안하고 성능분석을 수행하고, 제안 기법의 동작 및 절차에 대해서 설명한다. 4장에서는 제안기법의 성능을 분석하고, 5장에서는 결론을 맺는다.

Ⅱ. 관련연구

1. PMIPv6

가. PMIPv6의 구성 및 기본동작

PMIPv6[6]의 도메인 구조는 그림 1에서와 같이 크게 LMA와 MAG, MN으로 구성된다. LMA는 PMIPv6에서 MN에 대한 일종의 HA(Home Agent)역할을 하며 세부적으로는 MN에게 HNP(Home Network Prefix)를 할당하고 자신이 관리하는 도메인 내의 모든 MN들의 주소와 위치정보를 유지하여 연결을 보장하는 역할을 한다. MAG는 MN을 대신해서 LMA와의 터널링을 통해 MN의 이동성을 지원하기 위한 시그널링을 수행하는 역할을 하고 MN의 네트워크에 대한 연결 기능과 라우팅 기능을 담당한다. PMIPv6 도메인 내에서 MN은 NAI(Network Access Identifier) 같은 MN-ID(MN-Identifier)로 식별되고, 일단 MN이 성공적으로 접속 인증을 수행하게 되면 네트워크는 MN이 항상 홈 네트워크에 있는 것처럼 만들어 준다. MN이 PMIPv6 도메인 내의 어느 곳으로 이동하던지 항상 동일한 HNP를 할당받기 때문에 MN은 PMIPv6 도메인을 하나의 링크로 간주하게 되는 것이다.

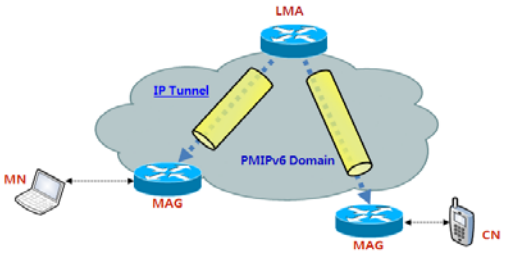

그림 1. PMIPv6 도메인의 기본구조
Fig. 1. PMIPv6 Domain Structure

나. PMIPv6 의 초기화 과정

PMIPv6의 초기화 과정은 그림 2와 같다. MN이 MAG의 링크에 접속하면, MAG는 L2핸드오버 과정에서 접속한 MN의 MN-ID를 알게 된다. MAG는 MN-ID

를 이용해 인증을 수행하며, 이때 MN-ID에 해당하는 Policy Profile를 PS(Policy Store)로부터 받게 된다. MAG는 Profile에 포함된 LMA의 주소로 MN-ID를 PBU(Proxy Binding Update) 메시지에 담아서 전송한다. PBU 메시지를 수신한 LMA는 BCE(Binding Cache Entry)에 해당 MN에 대한 정보가 있는지 확인한 다음 없으면 NM의 정보를 생성하고, 있을 경우에는 기존의 정보를 갱신한다. 그 다음LMA는 해당 MN에 대한 HNP를 PBA(Proxy Binding Ack) 메시지에 담아서 MAG로 보낸다. 이 때, LMA와 MAG 사이에는 양방향 터널이 생성되게 된다. MAG는 PBA를 받자마자 MN-HNP 정보를 추출하여 RA(Router Advertisement) 메시지에 담아서 MN에게 보낸다. RA 메시지를 받은 MN은 Policy Profile에서 정의된 주소 설정 방법에 따라 RA 메시지에 포함된 MN-HNP를 이용하여 자신의 HoA(Home Address)를 생성한다. MN은 이제 생성된 HoA를 사용하여 CN과 통신 할 수 있다. 이 때, MN에서 보내지거나 MN을 향하는 모든 패킷은 LMA를 거치게 된다. LMA가 MN의 HNP에 대한 TAP(Topological Anchor Point) 이기 때문에 외부에서 MN을 향하는 모든 패킷은 LMA에 도착하게 되고 LMA는 이것을 MAG와의 사이에 설립된 양방향 터널을 통해 MN으로 포워딩한다. MN에서 보내지는 패킷 역시 MAG가 LMA로 터널링 한 뒤, LMA가 외부 헤더를 제거하고 CN으로 전송한다.

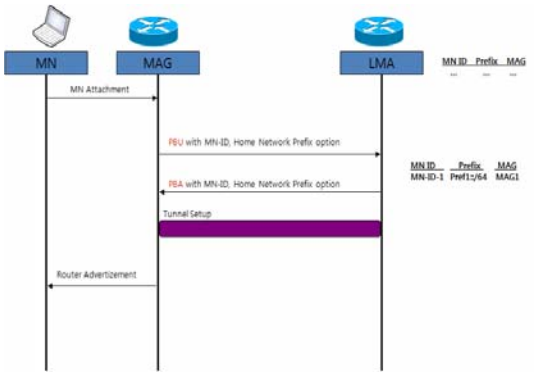

그림 2. PMIPv6 핸드오버 절차
Fig. 2. PMIPv6 Handover process

2. 6LoWPAN

가. 6LoWPAN의 구성 및 기본동작

6LoWPAN(IPv6 over Low power WPAN)은 한정된 전력과 적은 처리량이 요구되는 어플리케이션들에게 무선 연결 환경을 제공하는 단순하고 간단한 저가형 통신 네크워크이다. 일반적으로 6LoWPAN은 실제 현실 세계의 어플리케이션 환경에 물리적으로 연결되기 위하여 함께 동작하는 노드들을 포함한다.

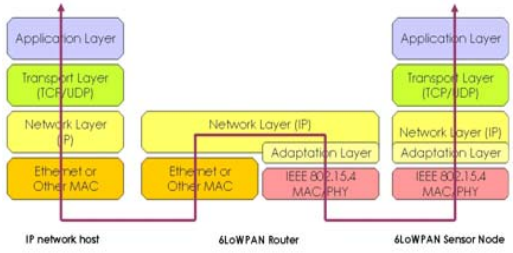

그림 3. 6LoWPAN 구조
Fig. 3. 6LoWPAN Structure

3. 6LoWPAN 센서노드의 이동성

6LoWPAN 센서노드의 이동성을 위해 MIPv6와 같은 프로토콜을 사용하는 것은 제한적 자원의 영향을 받는 6LoWPAN 센서노드에서 구현되는 것이 현실적으로 불가능하다. 6LoWPAN 센서노드의 이동 시 발생하는 바인딩 시그널링을 MAG가 대신 처리해 주는 PMIPv6 프로토콜을 6LoWPAN에 적용하면 보다 효율적인 이동성을 지원할 수 있다. 그러나 PMIPv6는 6LoWPAN 이동센서노드와 1홉으로 연결되는 경우에 6LoWPAN 이동 센서노드의 이동을 인지하고 PBU를 하게 되지만, 6LoWPAN 센서 네트워크와 같이 멀티 홉으로 구성되는 네트워크에는 PMIPv6를 바로 적용할 수 없다.

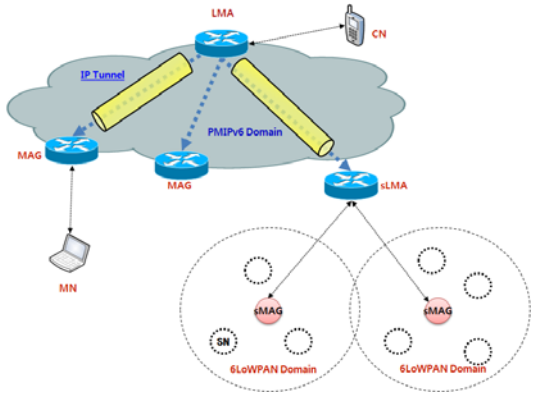

그림 4. PMIPv6 와 6LoWPAN의 연결
Fig. 4. PMPIv6 and 6LoWPAN Connection

4. SPMIPv6

SPMIPv6(Sensor Proxy Mobile IPv6)는 IP-WSN에서 에너지 효율적인 이동성 지원 기법이다. SPMIPv6는 PMIPv6에 기반의 지역 이동성 관리 프로토콜이다. SPMIPv6는 센서네트워크 기반의 지역 이동성 앵커인 SLMA와 센서네트워크 기반의 이동성 접근 게이트웨이인 SMAG 그리고 IPv6 헤더를 가진 IP 센서노드로 구성되어 있다.

Ⅲ. 비용효과적인 6LoWPAN 도메인 간 분산 이동성 제어 기법

SPIG는 IP-SN의 이동성을 지원하기 위한 망 기반 이동성관리 기술이다. SPIG의 구성 요소는 센서네트워크 기반 이동성 지원 프로토콜로서 도메인을 관리하는 SLMA(Sensor Local Mobility Anchor)[7]와 IP-SN의 이동을 감지하고 IP-SN의 위치 정보를 등록하는 SMAG(Sensor Mobile Access Gateway)[7] 그리고 IP-SN으로 구성되어 있다.

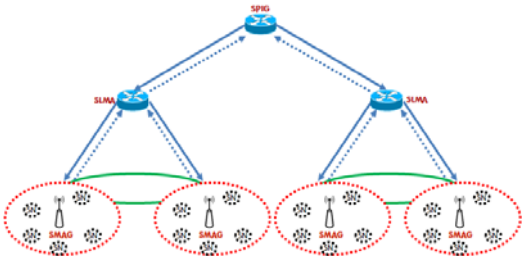

그림 5. SPIG 의 구조
Fig. 5. SPIG Structure

1. SPIG의 구성요소

가. SLMA

SLMA는 SMAG 및 IP-SN을 관리하며 도메인 내부와 외부를 연결해 주는 게이트웨이 역할을 한다. SLMA의 주요 역할은 IP-SN의 최신정보를 유지하는 것이다. SPMIPv6 도메인의 내부와 외부 노드를 이동하는 동안 SLMA는 각 센서 노드 및 SMAG 정보 테이블에 대한 바인딩 캐시 항목이 포함되어 있다. 바인딩 캐시 항목은 SLMA가 IP-SN의 정보를 유지하기 위해 사용된다. SLMA 필요한 모든 레코드를 저장할 충분한 메모리, 전원 공급 장치 및 처리 기능을 가지고 있다. 또한 SPMIPv6 도메인 및 PMIPv6 도메인 사이의 인터페이스 장치 역할을 한다.

나. SMAG

SMAG의 센서 네트워크에서 싱크 노드와 같은 역할을 한다. SMAG는 IP-SN의 움직임을 감지하고 이동성 관련 시그널링을 기능과 액세스 게이트웨이 라우터처럼 동작한다. 라우팅, 센서 정보 테이블, SLMA에 인터페이스 모듈 등 다양한 기능을 가지고 있다. 센서 정보 테이블에는 SLMA에 센서 노드의 현재정보를 제공한다.

다. IP 센서노드

SPMIPv6 도메인은 IPv6 주소를 기반으로 다수의 센서 노드로 구성되어 있다. 센서 노드의 두 종류가 있다. 한 유형은 적응 계층 및 IEEE 802.15.4[8,9] 인터페이스 TCP / IP 통신 프로토콜 스택을 포함하고 있다. IP-SN은 정보 감지 기능 외 다른 노드에 정보를 전달할 수 있다. 이런 의미에서 센서 라우터 역할을 한다.

2. SPIG 의 운영 구조

그림 2 는 SPIG, SLMA, SMAG 및 IP 센서 노드를 포함 SPIG의 세부 아키텍처를 보여준다. SMAG는 SPMIPv6 기반의 IP-WSN 및 외부 PMIPv6 네트워크와 같은 이종 네트워크와 통신을 위해 두 개 이상의 인터페이스가 필요하다. 모든 IP-SN은 로컬 및 글로벌 통신을 위한 IPv6 주소로 이루어져 있다.

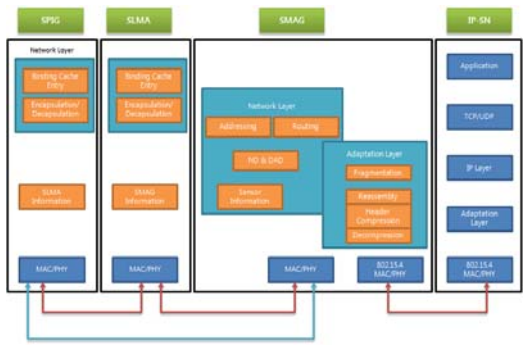

그림 6. SPIG의 동작 구조
Fig. 6. Operation Architecture of SPIG

3. SPIG 의 메시지 흐름

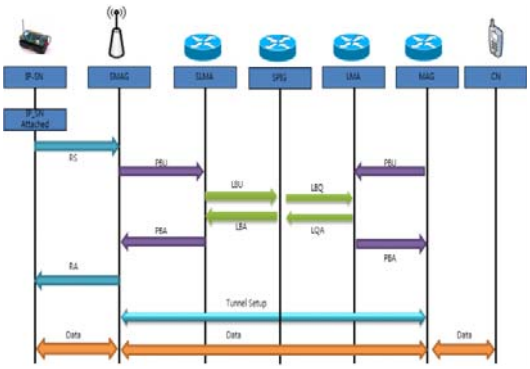

그림 7. SPIG의 메시지 흐름
Fig. 7. SPIG Message Flow

모든 데이터의 이동은 SPIG를 통해서 이루어진다. SPIG에서 CN으로부터 IP-SN에 데이터가 전달되는 과정은 다음과 같다. 첫째, IP-SN이 네트워크에 접속이 되면 SMAG에 Router Solicitation 메시지를 보낸다. 둘째, RS 메시지를 받은 SMAG는 SMAG 내에 IP-SN의 정보를 저장시켜 놓고 SLMA에 PBU 명령을 보내 IP-SN의 정보를 SLMA에 업데이트 시킨다. 셋째, SLMA는 SMAG로부터 받은 정보를 SPIG에 LBU 명령을 통해 업데이트 하고 LBA 명령을 SLMA에 전송한다. 넷째, LBA 명령을 수신한 SLMA는 SMAG에 PBA 메시지를 전송한다. 다섯째, PBA명령을 받은 SMAG는 RA 명령을 IP-SN에 전송한다. 이 상태는 IP-SN이 SPIG를 통해 CN으로 부터의 데이터 요청에 응답을 할 수 있는 상태이다. CN이 PMIPv6 네트워크에 접속하여 MAG와 LMA를 통해 SPIG로부터 IP-SN의 정보를 받아 IP-SN이 위치한 SMAG를 통하여 데이터를 전송할 수 있다.

Ⅳ. 실험 및 결과

1. 네트워크 이동성 모델

센서 노드와 네트워크의 이동성은 IP-WSN의 큰 장점이다. 본 논문에서는 이동성은 IP-WSN의 설계 및 성능 분석의 주요 대상이다. 무선 네트워크 성능 연구의 대부분은 커버리지 영역이 육각형이나 사각형 모양으로 구성되어 있다고 가정한다. 우리는 IP-WSN 네트워크가 육각형 토폴로지로 구성할 것을 가정한다. IP-WSN 지역에 센서 노드 내에서와 IP-WSN에 걸쳐 동일한 움직임 패턴을 가지고 추정하고 있다. 2D 육각 무작위 도보 이동성 모델은 이동식 센서 노드의 이동 패턴을 연구하는 데 사용할 수 있다. 본 논문에서는 N = 6, 6 층 개인 영역 네트워크 모델의 일부 수정에 대한 네트워크 모델 제목을 사용한다. 그림 7에 표시된 대로 우리의 네트워크 모델에서 IP-WSN은 육각형 센서 노드 클러스터로 구성되어 있다.[10]

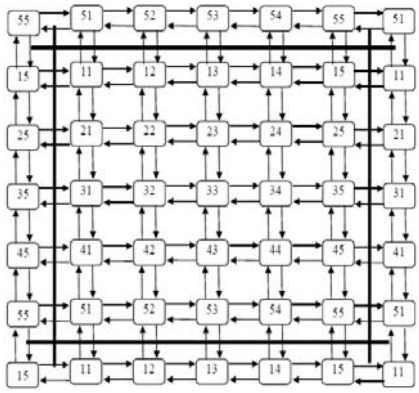

그림 8. 5계층 사각 모형
Fig. 8. Square shaped cell layout of five-sublayer

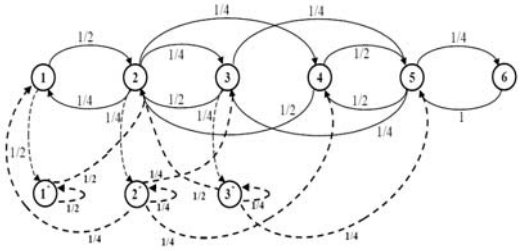

그림 9. 5 * 5 스퀘어 셀 상태전이도
Fig. 9. State transition diagram for 5 * 5 square cell model

2. 시그널링 비용 분석

제안한 모델의 동작을 분석하기 위해 마르코프 체인을 이용한다. P는 일반 전이 확률 행렬로 정의한다. 안정 상태 확률 벡터는 다음 방정식을 사용하여 해결할 수 있다.

$$\pi P = \pi \text{ and } \sum_{i=1}^{m} \pi_i = 1 \quad (1)$$

여기에서, M은 상태의 개수이며, P는 일반 마르코프 체인에 대한 기본적인 행렬이다.

$$Z = [Z_{ij}] = (I - P + A)^{-1} \quad (2)$$

(A : 상태전이행렬, I : 항등행렬)

행렬 Z는 마르코프 체인의 동작을 연구하는 데 사용하고, 한 프로세스가 특정 상태에 있는 시간의 평균 개수를 계산할 수 있다. $Y_j(k)$는 첫 번째 k 단계에서 상태 S_j에 있는지 프로세스 수이다. $M_i[y^{(k)}]$는 상태 S_i부터 시작하여 상태 S_j 까지 가는 프로세스의 수를 의미한다.

$$M_i[y_j^{(k)}] \rightarrow (Z_{ij} - \pi_j) + k\pi_j \quad (3)$$

Z_{ij} 와 π_j 는 행렬 Z 와 A에서 구할 수 있다.

상태 S_i로부터 시작하는 k 단계에서 경계 업데이트 (U_{bu}) 총 수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$U_{bu} = M_i[y_1^{(k)}] + M_i[y_2^{(k)}] + M_i[y_3^{(k)}] \quad (4)$$

위 식으로부터

$$U_{bu} = \sum_{n=1}^{N} M_i[y_n^{(k)}] \text{ 를 구할 수 있다.} \quad (5)$$

성공이 처음 나타난 때까지 독립적인 베르누이 실험의 수를 M을 계산하면 기하 확률 변수가 발생한다. M은 기하 확률 변수라고하며 집합 {1,2, ...}된다. M의 pmf는 다음 공에서 유도된다.

$$P[M=k] = p_M(k) = (1-p)^{k-1}p \quad k = 1,2,\ldots, \quad (6)$$

여기서 $p = P[A]$ 베르누이 시험에서 "성공"의 확률이다. $P[M=k]$ 인 기하 확률 변수 k 가 소멸 되었을 때 연속되는 관계의 비율은 $p_M(k+1)/p_M(k) = (1-p) = q$ 와 같다. p 가 증가함에 따라 pmf 는 더욱 빨리 소멸될 것이다.

$M \le k$ 일경우는

$P[M \le k] = \sum_{j=1}^{k} pq^{j-1} = p\sum_{j=0}^{k-1} q^j = p\frac{1-q^k}{1-q} = 1-q^k$를 구할 수 있다. (7)

위 공식으로부터

$$M_{intra-IP-WSN} = 1 - (1 - \frac{1}{U_{bu}})^k \quad (8)$$

$$M_{inter-IP-WSN} = 1 - (1 - \frac{1}{U_{bu}})^k \times \frac{1}{U_{bu}} \quad (9)$$

과 같이 유도 할 수 있다.

3. 성능평가 구성

SPMIPv6 도메인 내에서 이동성 제어와 SPMIPv6 도메인 간의 전역 이동성 제어를 결합한 구조이다. SPMIPv6의 모든 도메인은 SPIG를 중심으로 결합되어 있고 SPMIPv6 도메인은 도메인을 총괄하는 SLMA와 SMAG로 구성되어 있다. 도메인 간 전역 이동성 제어를 SPIG를 통해 수행된다.

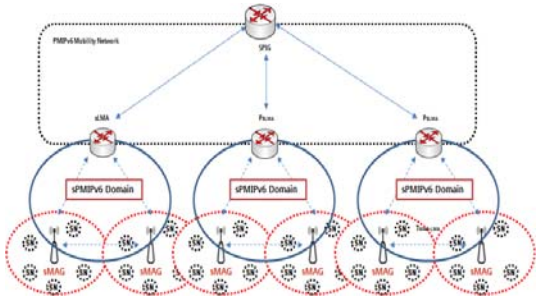

그림 10. SPMIPv6 기반 SPIG
Fig. 10. SPIG over SPMIPv6

4. 비용분석

가. PMIPv6

PMIPv6에서 총 시그널링 비용은 IP-WSN 내부 이동 비용과 IP-WSN 도메인 간 이동의 합으로 구할 수 있다. 표 1은 사용되는 기호에 대해서 설명한다.

표 1. 비용분석을 위한 매개변수
Table 1. Parameters for Cost Analysis

기호	설명
BU	바인딩 업데이트 메시지
BA	바인딩 액크 메시지
PBU	프록시 바인딩 업데이트 메시지
PBA	프록시 바인딩 액크 메시지
$D_{smag-slma}$	sMAG 와 sLMA사이의 거리
$D_{sn-smag}$	센서노드와 sMAG 사이의 거리
α	무선 전송 비용
β	유선 전송 비용
RS	Router Solicitation 메시지
RA	Router Advertisement 메시지
C_{sd}	센서 이동성 비용
C_{bu}	바인딩 업데이트 비용

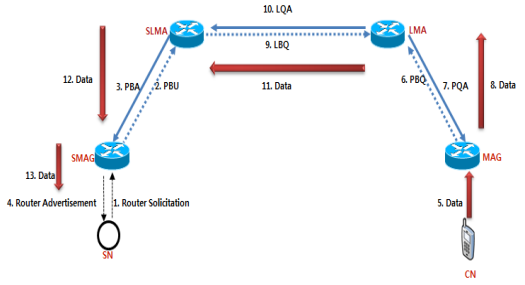

그림 11. PMIPv6에서 동작절차
Fig. 11. Operation over PMIPv6

PMIP의 도메인 간 바인딩 업데이트 작업은 다음과 같이 수행된다. IP-SN이 새로운 SMAG 지역에 들어왔을 때, IP-SN은 SMAG에 Router Solicitation 메시지를 보낸다. 그 후, IP-SN의 SMAG가 PBU 및 PBA 제어 메시지를 교환하여 SLMA와 PBU 작업을 수행하고 SLMA는 IP-SN에 Router Advertisement 메시지를 보낸다. 따라서 PMIP의 도메인 간 바인딩 업데이트 비용은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$BUC_{PMIP} = M_{inter-IP-WSN} + S_{CONTROL} \times 2T_{SMAG-SLMA} + P_{SLMA} \quad (10)$$

CN에서 IP-SN으로 패킷 전달 비용은 다음과 같이 계산한다. 첫째, CN의 데이터 패킷이 MAG에 전달된다. CN의 MAG는 LMA에서 PBQ 및 PQA 메시지를 교환하여 IP-SN의 CoA를 얻는다. CN의 MAG가 LMA에 데이터 패킷을 전달한다. CN의 LMA는 LBQ 와 LQA 메시지를 SLMA와 주고받는다. CN의 LMA는 IP-SN의 SLMA로 데이터 패킷을 전달한다. IP-SN의 SLMA는 IP-SN의 SMAG로 데이터 패킷을 전달한다. 최종적으로, IP-SN의 SMAG는 IP-SN으로 데이터 패킷을 전달한다. PMIP의 도메인 간 패킷 전달 비용은 다음과 같다.

$$PDC_{PMIP} = S_{DATA}(T_{CN-MAG} + T_{MAG-LMA} + T_{LMA-SLMA} + T_{SLMA-SMAG} + T_{SMAG-SN}) + S_{CONTROL} \times (2T_{MAG-LMA} + 2T_{LMA-SLMA}) + P_{LMA} + P_{SLMA} \quad (11)$$

총 소요 비용은 $TC_{PMIP} = BUC_{PMIP} + PDC_{PMIP}$ 이다. (12)

나. SPMIPv6

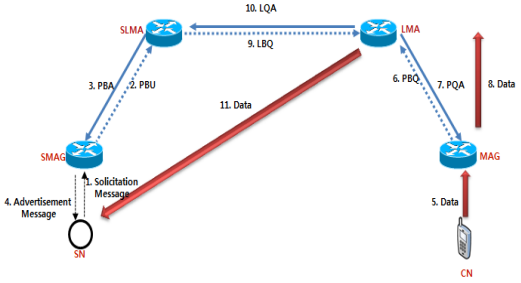

그림 12. SPMIPv6에서 동작절차
Fig. 12. Operation over SPMIPv6

SPMIPv6의 도메인 간 바인딩 업데이트 작업은 다음과 같이 수행된다. IP-SN이 새로운 SMAG 지역에 들어왔을 때, IP-SN은 SMAG에 Router Solicitation 메시지를 보낸다. 그 후, IP-SN의 SMAG가 PBU 및 PBA 제어 메시지를 교환하여 SLMA와 PBU 작업을 수행하고 SLMA는 IP-SN에 Router Advertisement 메시지를 보낸다. 따라서 PMIP의 도메인 간 바인딩 업데이트 비용은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$BUC_{SPMIP} = M_{inter-IP-WSN} + S_{CONTROL} \times 2T_{SMAG-SLMA} + P_{SLMA} \quad (13)$$

CN에서 IP-SN으로 패킷 전달 비용은 다음과 같이 계산한다. 첫째, CN의 데이터 패킷이 MAG에 전달된다. CN의 MAG는 LMA에서 PBQ 및 PQA 메시지를 교환하여 IP-SN의 CoA를 얻는다. CN의 MAG가 LMA에 데이터 패킷을 전달한다. CN의 LMA는 LBQ 와 LQA 메시지를 SLMA와 주고받는다. CN의 LMA는 IP-SN의 SLMA로부터 IP-SN이 위치한 SMAG 정보를 수신받는다. CN의 LMA는 IP-SN의 SMAG로 데이터 패킷을 전달한다. 최종적으로, IP-SN의 SMAG는 IP-SN으로 데이터 패킷을 전달한다. SPMIPv6 도메인 간 패킷 전달 비용은 다음과 같다.

$$PDC_{SPMIP} = S_{DATA}(T_{CN-MAG} + T_{MAG-LMA} + T_{LMA-SMAG} + T_{SMAG-SN}) + S_{CONTROL} \times (2T_{MAG-LMA} + 2T_{LMA-SLMA}) + P_{LMA} + P_{SLMA} \quad (14)$$

총 소요 비용은 $TC_{SPMIP} = BUC_{SPMIP} + PDC_{SPMIP}$ 이다. (15)

다. SPIG

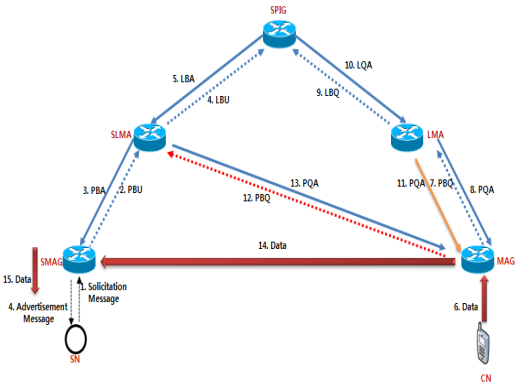

그림 13. SPIG의 동작절차
Fig. 13. Operation over SPIG

SPIG의 도메인 간 바인딩 업데이트 작업은 다음과 같이 수행된다. IP-SN이 새로운 SMAG 지역에 들어왔을 때, IP-SN은 SMAG에 Router Solicitation 메시지를 보낸다. 그 후, IP-SN의 SMAG가 PBU 및 PBA 제어 메시지를 교환하여 SLMA와 PBU 작업을 수행하고 SLMA는 IP-SN에 Router Advertisement 메시지를 보낸다. SLMA는 SPIG 에 LBU 메시지를 보내 SLMA의 최신정보를 SPIG에 업데이트한다. SPIG는 LBA 제어 메시지를 SLMA에 보낸다. 따라서 SPIG의 도메인 간 바인딩 업데이트 비용은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$BUC_{SPIG} = M_{inter-IP-WSN} + S_{CONTROL} \times 2T_{SMAG-SLMA} + P_{SLMA} \quad (16)$$

CN에서 IP-SN으로 패킷 전달 비용은 다음과 같이 계산한다. 첫째, CN의 데이터 패킷이 MAG에 전달된다. CN의 MAG는 LMA에서 PBQ 및 PQA 메시지를 교환하여 IP-SN의 CoA를 얻는다. CN의 LMA는 IP-SN의 SLMA정보를 얻기 위해 SPIG에 LBQ 메시지를 보낸다. SPIG는 IP-SN의 SLMA정보를 CN의 LMA에 LQA 메시지로 알려준다. CN의 MAG가 IP-SN의 SLMA에 PBQ 메시지로 IP-SN의 정보를 요청하고 IP-SN의 SLMA는 PQA 메시지로 해당 정보를 알려준다. CN의 MAG는 IP-SN의 SMAG로 데이터 패킷을 전달한다. 최종적으로, IP-SN의 SMAG는 IP-SN으로 데이터 패킷을 전달한다. SPMIPv6 도메인 간 패킷 전달 비용은 다음과 같다.

$$PDC_{SPIG} = S_{DATA}(T_{CN-MAG} + T_{MAG-SMAG} + T_{SMAG-SN}) + S_{CONTROL} \times (2T_{MAG-LMA} + 2T_{LMA-SPIG}) + P_{LMA} + P_{SLMA} \quad (17)$$

총 소요 비용은 $TC_{SPIG} = BUC_{SPIG} + PDC_{SPIG}$ 이다. (18)

5. 성능평가 결과

그림 14는 IP-WSN 노드 수에 증가에 따른 PMIPv6, SPMIPv6, SPIG의 비용을 분석한 것이다. 기존 PMIPv6, SPMIPv6 기법과 비교하여 SPIG 기법이 비용효과적으로 나타났다.

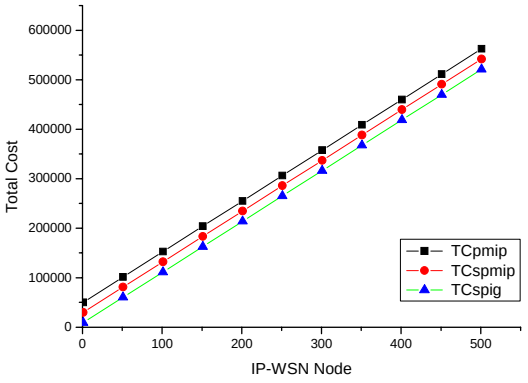

그림 14. IP-WSN Node 수에 따른 비용분석
Fig. 14. Cost Analysis as Number of IP-WSN Node

그림 15는 은 홉 카운트의 수에 따른 목적지 노드에 도달하는 비용을 분석하였다. 최대 홉 카운트는 15로 고려했다. 비용이 홉 카운트의 수의 증가에 따라 선형적으로 증가했으며 제안한 기법이 PMIPv6 와 SPMIPv6보다 좋은 성능을 나타냈다.

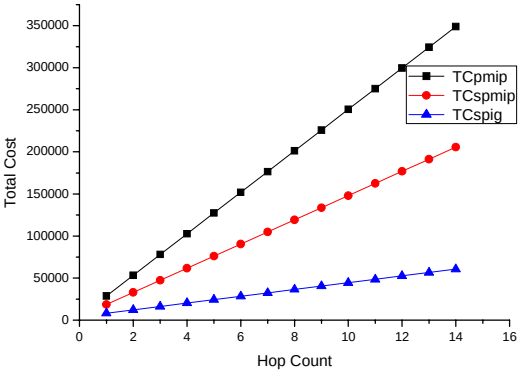

그림 15. Hop Count에 따른 비용분석
Fig. 15. Cost Analysis as Number of Hop Count

그림 17과 그림 18는 바인딩 업데이트 비용과 룩업 동작비용의 합계를 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 것과 같이 모든 기법들이 거의 영향을 받지 않는다. 이것은 바인딩 업데이트와 룩업 동작이 총 비용에 중요한 영향을 주지 않는 것을 알 수 있다.

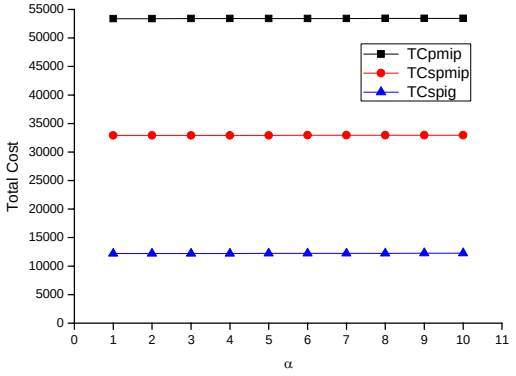

그림 16. SLMA에서 바인딩 업데이트 비용
Fig. 16. Cost Analysis as Binding Update over SLMA

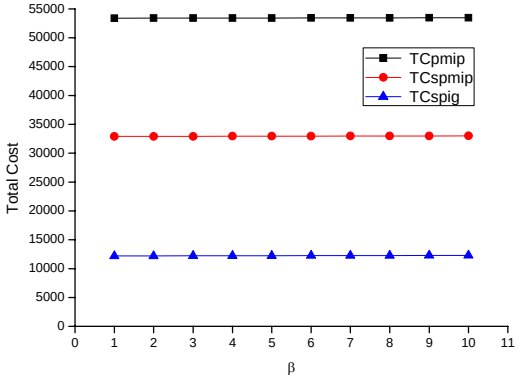

그림 17. SLMA 또는 SMAG에서 룩업 비용
Fig. 17. Cost Analysis as Lookup over SLMA or SMAG

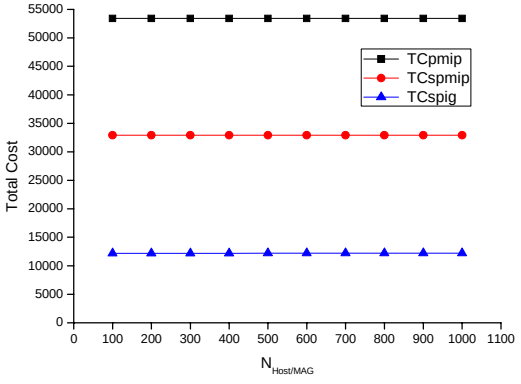

그림 18. MAG 내 호스트 수
Fig. 18. Cost Analysis as Number of MAG Count

그림 19은 MAG 내 포함된 호스트 수에 의한 총 사용 비용을 분석하였다. 그림에서 보는 것과 같이 MAG 내 호스트 수는 비교한 기법 모두에 거의 영향을 주지 않는 것을 알 수 있다.

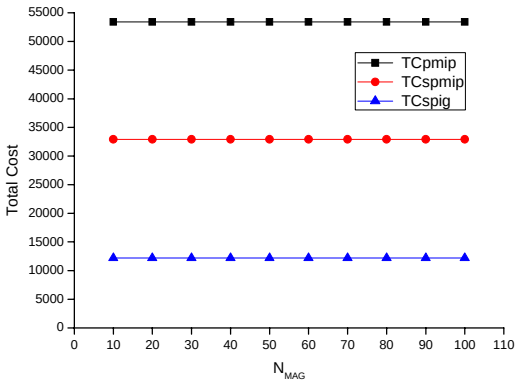

그림 19. MAG수에 따른 비용분석
Fig. 19. Cost Analysis as Number of MAG Count

모든 분석 결과를 보면, 기존의 도메인 내 분산 이동성 제어의 확장을 적용한 기법 보다 본 논문에서 제안한 기법의 성능이 비용 효과적으로 나타났다. 특히 SPIG를 이용한 시그널 분산 제어 기법이 전체 비용측면에서 가장 효과적으로 나타냈다.

V. 결 론

SPIG는 IP-SN의 핸드오버 시 과도한 시그널 전송 문제와 지연시간 문제를 해결하기 제안되었고, 최근 6LoWPAN 도메인 내에서 효율적인 데이터 처리를 위해 분산제어가 연구되고 있다. 본 논문에서는 최근 연구되는 PMIPv6 도메인 내에서의 IP-SN의 이동성을 연구한 SPMIPv6 기법보다 본 논문에서 제시한 기법이 적용되면 별도의 핸드오버 절차를 수행하지 않더라도 LMA 및 SLMA 대한 정보들이 SPIG에 포함되어 있어 끊김없이 네트워크를 이용할 수 있다. 비용측면의 분석에 의해 보면, 기존의 SPMIPv6 기법보다 SPIG를 이용한 분산 제어 기법의 성능이 훨씬 우수한 것으로 증명된다.

참 고 문 헌

[1] K.T Chung, S.G Kim, "Node-Density Adaptive Scheduling Scheme for Cluster-based Routing Protocol in Wireless Sensor Networks," Journal of the Korea Institute of Information Technology, v.9, no.12, December 2011.

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

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

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

[5] 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.

[6] S. Gundavelli (Editor) et al., "Proxy Mobile IPv6", RFC5213 August 2008.

[7] Sensor Proxy Mobile IPv6 (SPMIPv6)－A Novel Scheme for Mobility Supported IP-WSNs Sensors 2011, 11, 1865-1887; doi:10.3390/s110201865

[8] Montenegro, G.; Kushalnagar, N.; Hui, J.W.; Culler, D.E. Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks. IETF RFC 4944, 2007.

[9] Kushalnagar, N.; Montenegro, G.; Schumacher, C. IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPANs): Overview, Assumptions, Problem Statement, and Goals. IETF RFC 4919, 2007.

[10] Akyildiz, I.F.; Lin, Y.B.; Lai, W.R.; Chen, R.J. A new random walk model for PCS networks. IEEE J. Sel. Area Commun. 2000, 18, 1254-1259.

※ 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0027030) 교신저자 : 정종필

저자 소개

장 순 호(정회원)

- 2011~:성균관대학교 정보통신대학원(석사과정)

<주관심분야 : Network Mobility, Network Security, Sensor Network>

정 종 필(정회원)

- 2008년 성균관대학교 정보통신대학(공학박사)
- 2009년 성균관대학교 컨버전스연구소 연구교수
- 2010년~현재 성균관대학교 산학협력단 산학협력중점교수

<주관심분야 : 모바일컴퓨팅, 센서 이동성, 차량 모바일 네트워크, 스마트기기 보안, 네트워크 보안, IT융합, 인터랙션사이언스 등>