

논문 2014-51-9-2

WoT 환경에서 제한된 센서 노드의 이동성 관리 방법

(Mobility Management Method for Constrained Sensor Nodes in WoT Environment)

천 승 만*, 갈 서 원*, 박 종 태**

(Seung-Man Chun, Shu-Yuan Ge, and Jong-Tae Park[©])

요 약

IETF CoRE WG은 IoT (Internet of Things) 환경에서 웹기반 응용 서비스를 지원하기 위해 CoAP (Constrained Application Protocol)를 표준화하고 있다. 하지만, CoAP 표준에서는 CoAP 센서 노드의 이동성에 대해서는 고려하지 않았다. 본 논문에서는 IoT 환경에서의 제한된 네트워크의 특징을 고려한 CoAP 센서 노드의 이동성 관리를 제공 할 수 있는 이동성 관리 프로토콜을 제안한다. 제안된 CoAP 센서를 위한 이동성 관리 프로토콜은 CoAP 센서 노드가 서로 다른 네트워크로 움직이는 동안에 웹 클라이언트가 CoAP 센서 노드로부터 신뢰성 있는 센싱 정보를 전송 받을 수 있게 된다. 이를 위해, 본 논문에서는 CoAP 센서 노드의 IP 주소를 별도로 관리하는 이동성 관리 구조를 설계하였고, 신뢰성 있는 센싱 정보 전달을 위해, 홀딩 (Holding Mode) 및 바인딩 모드 (Binding Mode)을 사용한 이동성 관리 프로토콜을 제시했다. 마지막으로, 핸드오버 지연과 패킷 손실 성능에 대해 제안된 CoAP 센서 노드의 이동성 관리 프로토콜과 기존의 이동성 관리 프로토콜간 수학적 분석과 네트워크 시뮬레이션 툴을 활용한 성능 분석을 수행하였다. 성능결과는 제안된 이동성 관리 프로토콜이 기존의 이동성 관리 프로토콜에 비해 패킷손실 없이 센싱 데이터를 신뢰성있게 전송 할 수 있다는 것을 보여준다.

Abstract

For Web-based applications in IoT environment, IETF CoRE WG has standardizing the CoAP. One of limitations of CoAP is that CoAP standard does not consider the mobility management of the CoAP sensor node. In this paper, we propose the mobility management protocol of CoAP sensor node by considering the characteristics of the constrained network. The proposed mobility management protocol supports for Web client to be transmitted the sensing data from CoAP node reliably while the CoAP sensor moves into different wireless networks. To do this, we designed the architecture with the separate IP address management of CoAP sensor node and presented the mobility management protocol, which includes the holding and binding mode, in order to provide the reliable transmission. Finally, the numerical analysis and simulation with NS2 tool have been done for the performance evaluation in terms of the handover latency and packet loss with comparing the proposed mobility management protocol with other the existing mobility management protocols. The performance result shows that the proposed mobility management can provide the transmission of sensing data without the packet loss comparing with the existing mobility management protocol reliably.

Keywords : WoT Mobility Management Protocol, CoAP Sensor Node, IoT Mobility Management

* 정회원, ** 평생회원, 경북대학교 전자공학부
(Department of Electrical Engineering, Kyungpook University)

© Corresponding Author(E-mail: jtpark@ee.knu.ac.kr)

※ 이 논문은 2014학년도 경북대학교 연구년 교수 연구비에 의하여 연구되었음.

접수일자: 2014년4월22일, 수정일자: 2014년8월04일, 수정완료: 2014년8월30일

I. 서 론

IoT (Internet of Things) 기술은 사물에 센서, 액추에이터 또는 다양한 장치를 탑재하고, 이들 간 상호 통신을 통해 인터넷 프로토콜이 탑재된 사용자와 사물 간 통합된 서비스를 제공하는 것이다^[1]. 사용자가 사물의 센서로부터 측정된 IoT 센싱 데이터를 획득하는 방법 중의 하나는 웹 서비스 기술들을 사용하는 것이다. 웹 서비스 기술과 IoT 기술을 통합하여 WoT (Web of Things)로 정의 한다^[1].

IETF (Internet Engineering Task Force)에서는 현재 WoT 기술에 관련된 다양한 기술들을 표준화를 진행하고 있다. 그중 하나인, CoRE (Constrained RESTful Environments) WG (Working Group)은 스마트 기기의 네트워크에 웹 서비스 패러다임을 도입하기 위해 표준화 작업을 하고 있다. CoRE WG은 CoAP (Constrained Application Protocol)라 불리는 REST 기반 웹 전송 프로토콜을 정의 했다^[2]. 이는 제한된 네트워크 환경에서 적은 시그널링 오버헤드, 간단한 멀티캐스트 지원 등 요구사항들을 만족시키면서 웹과 쉽게 통합될 수 있게 한다. 하지만, WoT 환경에서 사용되는 센서 노드는 기존의 장치들 보다 저사양의 CPU 처리와 저 메모리 사용 및 저전력이 사용되며, WoT의 네트워크는 전송 가능한 패킷크기 제한, 높은 패킷 손실률이 발생할 수 있으며, 상당수의 제한된 센서 노드들은 절전 모드 (Sleep mode)로 동작 하는데, 이 때, 센서 노드는 어떠한 데이터도 송수신 할 수 없는 점을 반드시 고려해야 한다^[2]. 그리고 WoT 환경에서 센서의 특징과 네트워크의 특징을 고려하여 신뢰성 있는 WoT 서비스를 지원하기 위해서는 시그널링 오버헤드의 최소화와 절차의 간소화가 매우 중요하다.

한편, CoAP의 상호작용 모델은 HTTP의 클라이언트/서버 모델과 유사하지만, CoAP에서의 센서 노드는 클라이언트와 서버 역할을 모두 수행 한다. 하지만, CoAP 표준에서는 WoT 환경에서 이동하는 제한된 센서 노드의 이동성 요구사항을 고려하지 않았다는 것이다. 센서 노드가 다른 무선 네트워크로 이동하게 되면, 센서 노드의 IP가 변경될 수 있으며, 이 때, 센싱 데이터가 손실되거나 Time-Critical 데이터의 전송 지연이 초래될 수 있다. CoAP에서 웹 서버 역할을 하는 제한된 센서 노드의 IP 주소는 DNS (Domain Naming Server)에 등

록된다. 만약 센서 노드가 서로 다른 IP 도메인으로 이동하면, 센서 노드의 IP가 변하게 된다. 이 때, 웹 클라이언트는 변경된 웹 서버 IP 주소를 찾지 못하여 서비스 단절이 야기된다.

이와 같이 웹 서버 센서 노드의 이동성으로 인한 서비스 단절 문제를 방지하기 위해 기존의 이동성 관리 프로토콜이 사용될 수 있다. IETF 표준기구는 다양한 표준 이동 관리 프로토콜을 표준화하였다. 네트워크 계층의 이동성 관리를 위해 Mobile IPv4/v6와 이를 확장한 이동성 관리 프로토콜인 FMIPv4/v6 (Fast Mobile IPv4/v6), HMIPv4/v6 (Hierarchical Mobile IPv4/v6)와 PMIPv4/v6 (Proxy Mobile IPv4/v6)가 표준화 되었으며, 전송 계층에서는 TCPmigrate와 mSCTP (mobile Stream Control Transport Protocol)이 표준화되었다^[5]. 응용 계층에서는 SIP 기반 이동성 관리 프로토콜^[3]이 차세대 무선 네트워크의 이동성 관리를 위해 제안되었다.

유감스럽게도 대부분의 IETF 이동성 관리 프로토콜은 터널 및 바인딩 동작으로부터 높은 시그널링 오버헤드를 가지고 있으며, 매우 복잡하고, 고사양의 CPU 처리를 필요하며 많은 전력 소모를 초래한다. 그리고 이들 표준 이동성 관리 프로토콜은 WoT 환경의 센서 특징 및 네트워크의 특징을 고려하지 않았기 때문에 WoT 서비스를 제공하기 위한 이동성 관리 프로토콜로 적합하지 않다. 또한 기존의 IETF 이동성 관리 프로토콜을 WoT 환경에서 적용하기 위해서는 기존의 인프라 네트워크 환경에서 네트워크 계층, 전송계층을 변경이 필요한데 이는 현실적으로 실현되지 쉽지 않다.

본 논문에서는 이러한 기존의 문제점을 해결하기 위해, WoT 환경에서 CoAP 센서 노드의 이동성을 지원하기 위한 신뢰성 있는 서비스를 제공할 수 있는 이동성 관리 프로토콜을 제안한다. 이를 위해, CoAP 센서 노드의 위치를 별도로 관리하는 이동성 관리 구조를 설계하였다. 이러한 구조는 시그널링 오버헤드를 줄이고 서비스의 신뢰성을 높일 수 있다. 그리고 제안된 이동성 관리 프로토콜에서 신뢰성 있는 센싱 정보 전달을 위한 이동성 관리 프로토콜에서 홀딩 (Holding Mode) 및 바인딩 모드 (Binding Mode)를 사용하였다. 이 모드를 통해 센서 노드의 절전모드 중에도 안정적으로 WoT 서비스를 지원할 수 있게 된다. 지금까지 WoT 환경에서의 센서 특징 및 네트워크 특징을 고려한 CoAP 노드의 이동성을 지원하기 위한 연구시도는 없

었다. 제안된 CoAP 센서의 이동성 관리 프로토콜의 핸드오버 지연과 패킷 손실에 대해 수학적 분석 및 네트워크 시뮬레이션 툴을 통한 시뮬레이션을 통해 성능 분석하였다.

본 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성된다. II장에서는, CoAP 표준에 대해 소개하고, III장에서는 CoAP 센서의 이동성 지원을 위한 이동성 관리 프로토콜의 구조를 설명하고, IV장에서는 성능 평가를 위한 수학적 분석을 제시하고, V장에서는 제안된 방식의 성능 결과를 분석하고, 마지막으로 VI장에서 결론을 내린다.

II. CoAP 표준의 개요

IETF CoRE WG에서는 제한된 IP 네트워크에서 리소스-지향 (Resource-oriented) 응용 프로그램을 실행하기 위해 CoAP를 설계했다. WoT 환경에서의 센서 네트워크는 제한된 IP 네트워크, 제한된 처리량, 제한된 전력, 제한된 램 용량을 지원한다.

CoAP 표준은 응용 프로그램의 중단 간 비동기식 요청/응답 상호작용 모델을 기반으로 동작하며, 서비스 및 리소스에서 기본 제공되는 탐색기능을 지원하며, URIs (Uniform Resource Identifiers) 및 Internet media Types과 같은 주요 웹 개념을 포함한다. 센서 노드에 대한 URI, Method, Request type, Parameter 등의 리소스 정보는 WADL (Web Application Description Language) 서버^[4]에 등록 된다. CoAP 센서에 접속을 하고자하는 클라이언트는 WADL의 리소스 정보를 참조하여 센서 노드에 센싱 정보 요청 메시지 또는 관리를 위한 메시지를 전송하게 된다.

그림 1은 CoAP의 구조를 나타낸다. CoAP는 요청/응답 계층과 메시지 계층으로 구성된다. CoAP 메시지 계층의 기능은 두 개의 중단 사이에 UDP를 통한 메시지 교환을 제어한다. 메시지 계층에는 네 개의 메시지 유형이 있다. CON (Confirmable), NON (Non-confirmable), ACK (Acknowledgment) 및 RST (Reset). CON 메시지를 보내면 반드시 ACK를 포함하여 응답을 요청하고, 만약 응답이 지연되더라도 서버는 반드시 비어있는 ACK로 응답한다.

CoAP 요청/응답 계층에서는 요청 메소드 또는 응답 메소드가 사용되며, 요청 메소드는 GET, POST, PUT 과 DELETE가 사용되며, 이에 대해 응답 메시지를 송

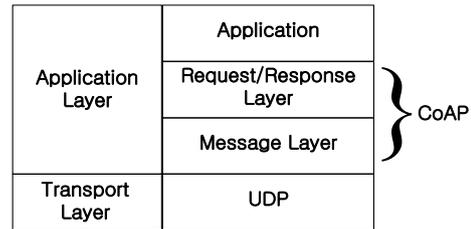


그림 1. CoAP 구조
Fig. 1. CoAP architecture.

신하게 된다.

하지만, CoAP 표준은 센서 노드의 IP 주소가 고정된다는 가정 하에 구현된다. 하지만, 웹 클라이언트는 센서 노드의 이동으로 IP 주소가 변경 되면, 해당 서버 노드의 위치를 찾을 수 없다. 결과적으로, 웹 클라이언트는 센싱 정보를 획득할수없게 된다. WoT 환경에서 신뢰성 있는 데이터의 가용성을 보장하기 위해, 간단하고 효율적인 이동성 관리 구조가 필요하다.

III. WoT 환경에서 CoAP 센서노드의 이동성 관리 구조

이 장에서는, CoAP 센서 네트워크에서 이동성 관리 구조 및 이동성 프로토콜에 대해 설명한다. WoT 센서 모니터링 서비스는 웹 클라이언트가 인터넷을 통해 CoAP 센서 노드에 CoAP를 통해 리소스를 요청/응답하여 센싱데이터를 수집하는 서비스를 말한다. 이 경우, 웹 클라이언트가 CoAP 센서 노드의 IP주소를 알고 있고 변경되지 않으면 언제든지 CoAP 센서 노드에서 측정된 데이터를 수집할 수 있다. 하지만, 최근 들어 센서 노드에 다양한 네트워크 인터페이스 (예: WiFi, LTE 등)가 장착되고 있으며, 저전력의 무선 네트워크를 지원하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 이러한 무선 네트워크 인터페이스가 센서 노드에 장착됨에 따라 센서노드에 IP 주소가 직접적으로 할당되고 있다. 이러한 IP주소가 할당된 센서 노드는 서로 다른 네트워크간 이동하는 이동성을 가질 수 있으며, 이때 센서 노드의 IP주소가 변경된다. 이 때, 웹 클라이언트는 센서노드의 변경된 IP주소를 알지 못하기 때문에 센서노드에 접속할 수 없게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 모바일 CoAP 센서 노드의 이동성 관리 방법을 제안한다.

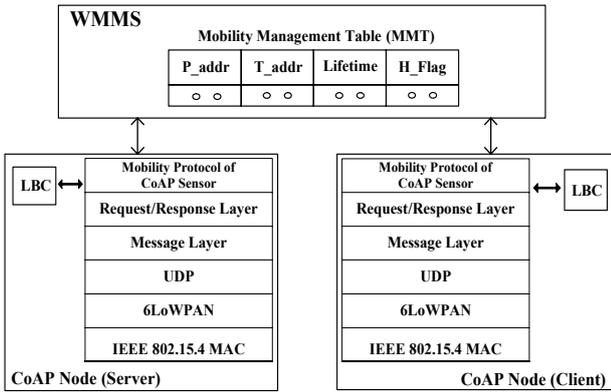


그림 2. CoAP 센서를 위한 이동성 관리 프로토콜을 이용한 이동성 관리 구조
 Fig. 2. Mobility management architecture using Mobility Protocol of CoAP Sensor.

1. 모바일 CoAP 센서의 이동성 관리 시스템 구성

그림 2는 CoAP 센서의 이동성 지원을 위한 이동성 관리 시스템 구조를 보여준다. 시스템은 CoAP 서버 노드 및 CoAP 클라이언트 노드와 MMT (Mobility Management Table)를 가진 WMMS (WoT Mobility Management System)로 구성된다. CoAP 클라이언트 노드는 CoAP 서버 노드에게 데이터 요청/검색 등을 요청 할 수 있다. WMMS는 CoAP 센서 노드의 이동성을 지원하기 위해 이동성 관리 프로토콜을 통해 MMT에서 IP주소를 관리한다. CoAP 노드는 측정된 데이터를 측정하고, 서버와 클라이언트 역할을 모두 수행하며, 요청 노드로 측정 데이터를 전송하는 기능을 한다.

WMMS에서 MMT의 P_addr는 DNS에 등록된 CoAP 노드의 영구적인 IP 주소이다. MMT의 T_addr는 변경된 CoAP 노드의 접속지점으로 변경 될 수 있는 임시 IP 주소이다. H_Flag는 노드의 핸드오버 상태를 나타내며, H_Flag를 활용하여 패킷 손실을 예방할 수 있다. P_Addr과 T_Addr의 Lifetime은 바인딩이 유효한 시간 이다.

WoT 환경에서의 센서 네트워크 구조는 IEEE 802.15.4 MAC 계층, IP 계층을 위한 6LoWPAN, 전송 계층을 위한 TCP/UDP로 구성된다. CoAP 센서를 위한 이동성 관리 프로토콜은 이동성 관리 기능을 제공하기 위해 CoAP 요청/응답 계층에서 GET, POST, PUT 및 DELETE 메소드를 사용한다. CoAP 노드는 P_addr, T_addr, Lifetime 및 H_Flag를 포함하는 LBC (Local Binding Cache)를 포함하고 있다. 이동성 관리 기능 제

공을 위해서 LBC 테이블을 사용하며 스키마는 WMMS의 MMT와 동일하다. LBC에서 Lifetime이 '0' 일 경우 해당 CoAP 노드의 LBC 엔트리는 삭제되고, WMMS의 MMT에서 CoAP 노드의 엔트리로부터 재수신 받아 갱신된다.

2. CoAP 센서 노드의 이동성 관리 프로토콜

그림 3은 IP 이동성 관리를 위한 이동성 관리 절차를 상세히 보여 준다. CoAP 표준에서 메시지 계층에서는 CON 메시지, Non-CON 메시지, ACK 메시지 및 RST 메시지를 사용한다. CON 메시지는 모든 제어 메시지로 사용된다. 이동성 관리 프로토콜은 크게 등록 (Registration), 연결 (Connection), 바인딩 (Binding)으로 구성된다.

그림 3은 이동성 관리 프로토콜의 동작을 보여준다. WMMS에 CoAP 노드 A와 CoAP 노드 B는 POST 등록 요구 메시지를 WMMS의 MMT에 직접 P_addr과 Lifetime을 등록한다. CoAP 노드 A는 CoAP 노드 B와 통신하기 위해 연결을 시도하는 동안, CoAP 노드 A의 T_addr는 수신 IP 주소와 함께 GET 연결 요청 메시지를 WMMS로 전송된다. CoAP 노드 B가 응답하는 동안에 CoAP 노드 A는 ACK 연결 응답 메시지에서 CoAP 노드 B 및 Lifetime의 현재의 임시 주소인 T_addr를 수신한다. 그런 다음, CoAP 노드 A는 LBC에서 CoAP 노드 B T_addr 및 Lifetime을 저장한다. 이

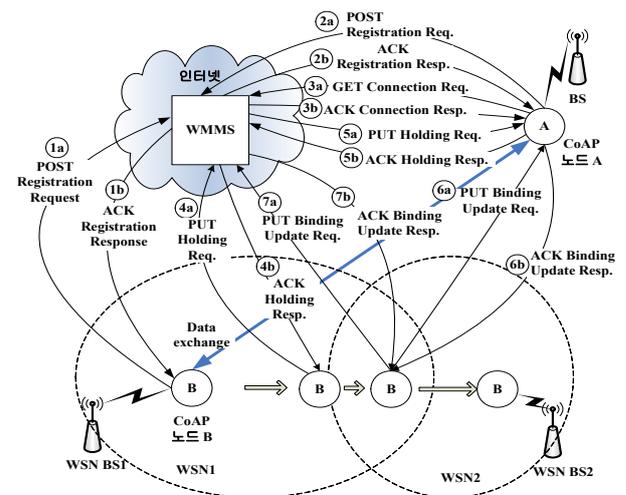


그림 3. CoAP 센서를 위한 이동성 관리 프로토콜의 이동성 관리 절차
 Fig. 3. Mobility management procedure of Mobility Protocol of CoAP Sensor.

후, CoAP 노드 A는 CoAP 노드 B T_addr의 Lifetime 만료 직전까지 CoAP 노드 B와 데이터를 교환 할 수 있게 된다.

다음으로 CoAP 노드 B가 WSN1 (Wireless Sensor Network 1)에서 WSN2 (Wireless Sensor Network 2)로 이동한다고 가정한다. 그림 3에서 CoAP 노드 B는 WSN1 에서 WSN2 네트워크 도메인으로 이동 할 때 WSN1의 범위를 벗어나 IP 핸드오버 동작을 해야 한다. 이를 수행하기 위해 CoAP 노드 B는 첫 번째 링크 계층에서 WSN BS1로부터 RSS (Radio Signal Strength)를 검출한다. WSN BS1로부터 RSS가 임계 값 이하로 떨어지면 CoAP 노드 B는 핸드오버 동작을 준비한다. 핸드오버 동작하는 동안의 패킷 손실을 막기 위해, CoAP 노드 B는 CoAP노드 A 및 다른 CoAP 노드의 WMMS에 PUT 홀딩 요청 메시지를 전송함으로써 핸드 오버 동작 상태를 알린다. WMMS는 MMT에서 CoAP 노드 B의 H_Flag를 "1"로 변경 하고, CoAP 노드 A로 PUT 홀딩 요청 메시지를 보낸다. 이에 대응하여, LBC에서 CoAP 노드 A는 H_Flag를 "1"로 변경 한다. 이는 핸드오버 동작 상태에 있음을 표시하기 때문에 다른 CoAP 노드가 CoAP 노드 B와 통신하기 위해 계속해서 CoAP 노드 B에 접속 요청을 한다.

CoAP 노드 B가 새로운 WSN2 네트워크 도메인으로 이동할 때 임시 IP 주소를 얻어 WSN2 DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) 서버로부터 새로운 T_addr를 얻은 후에, CoAP 노드 B는 PUT 바인딩 업데이트 요청 메시지를 사용하여 WMMS와 CoAP 노드 A에 새로운 T_addr를 알린다. 또한 WMMS의 LBC 및 MMT에서 H_Flag를 변경한다. PUT 바인딩 업데이트 요청 메시지는 CoAP 노드 B의 P_addr 및 T_addr와 H_Flag 상태를 포함한다. CoAP 노드 B로부터 바인딩 업데이트 메시지를 수신한 후에 CoAP 노드 A는 CoAP 노드 B의 H_Flag를 "0"으로 변경한다. 이러한 방법으로 CoAP 노드 A와 CoAP 노드 B는 핸드오버 동작 동안에 패킷 손실 없이 데이터를 교환 할 수 있다.

홀딩 요청 메시지는 CoAP 노드의 절전 모드 상태를 나타내는데 사용된다. I 장 에서 설명 했듯이 CoAP 노드는 절전 모드 동작 상태에 있을 수 있다. 절전 모드 동작에서 CoAP 노드는 데이터 송수신을 못 할 수 있다. 절전 모드에서 알람이 없으면 CoAP 노드는 지속적으로 CoAP 서버에 연결하기 위해 재시도 할 수 있다.

이것의 결과로 WoT 환경에서 대용량 트래픽 오버헤드가 발생 할 수 있다. 게다가, CoAP 서버가 전력 부족 때문에 갑자기 절전 모드가 되는 경우 연결이 끊어질 수 있으며, 큰 패킷 손실이 발생 할 수 있다. 하지만, WMMS에서의 H_Flag는 절전하는 CoAP 서버 때문에 불필요한 네트워크 트래픽 오버헤드 및 패킷 손실 방지 할 수 있다.

IV. 핸드오버 지연시간 및 패킷 손실의 수학적 분석

이 장에서는, 핸드오버 지연 및 CoAP 센서를 위한 이동성 관리 프로토콜을 사용하여 이동성 관리를 위한 패킷 손실을 수학적으로 분석한다. 특히, IETF MIPv6의 양방향성 터널 방식과 IETF HMIPv6 이동성 관리 프로토콜을 상대로 제안된 CoAP 센서를 위한 이동성 관리 프로토콜의 성능을 비교한다. 본 논문에서 제안하는 CoAP 기반 이동성 관리 프로토콜은 MPCS (Mobility Protocol of CoAP Sensor)로 명시한다.

1. 핸드오버 지연의 분석

WoT 서비스 환경에서 핸드오버 지연과 패킷 손실율은 이동성 관리에서 중요한 성능 요소이다^[10]. 특히, 헬스케어 모니터링 서비스에서 모바일 단말의 핸드오버로 인해 생명과 직결될 수 있는 생체데이터가 손실되거나 지연될 경우 의료서비스의 신뢰성에 치명적일 수 있다.

그림 4는 핸드오버 지연 및 패킷 손실에 대한 수학적 분석을 위한 이동성 모델을 보여 준다. 이동성 모델은

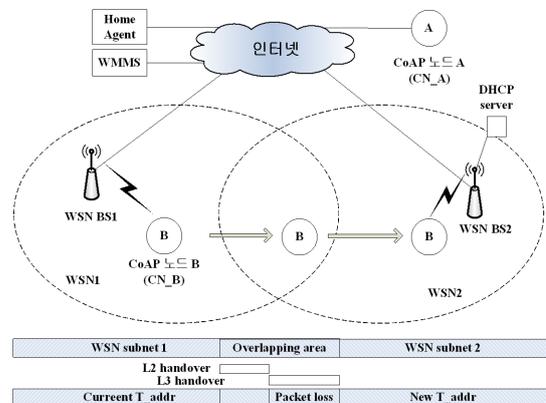


그림 4. 성능 평가를 위한 이동성 모델
Fig. 4. Mobility model for performance evaluation.

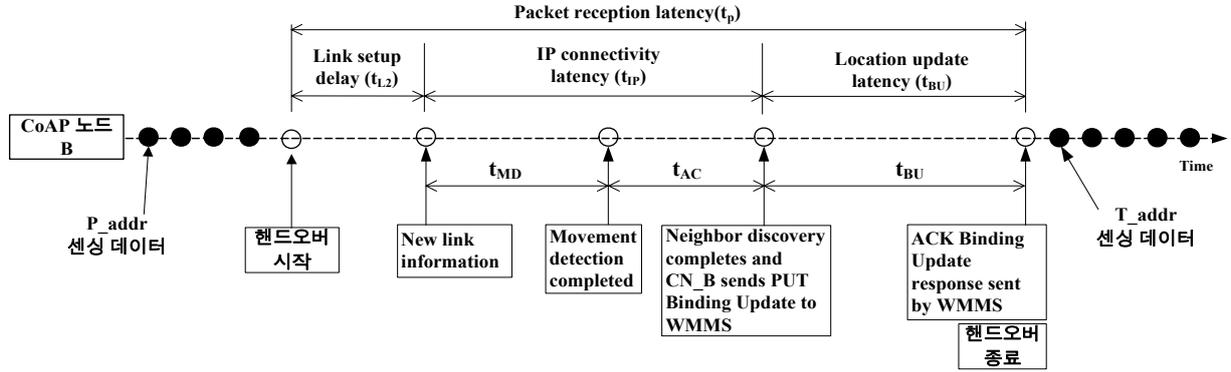


그림 5. CoAP 기반 이동성 관리 프로토콜의 핸드오버 지연에 대한 타임라인
 Fig. 5. Handover delay timeline of CoAP-based mobility management protocol.

CN_B (CoAP 노드 B), CN_A (CoAP 노드 A), WMMS, 홈 에이전트 (Home agent), WSN BS1, WSN2 BS 및 DHCP 서버로 구성된다. 첫 번째로 CN_B는 WSN1 BS에 연결하고, WSN BS1로부터 P_addr를 획득한 후에 CN_B와 CN_A는 패킷을 교환하게 된다. 이어서, CN_B는 WSN2의 네트워크 도메인으로 이동함에 따라 CN_B는 핸드오버 절차를 시작하고 WSN BS2로부터 새로운 T_addr를 얻는다. 그 후, 바인딩 절차를 수행하고 핸드오버 절차를 완료한다. 이러한 핸드오버 절차에서 CN_B, MIPv6, HMIPv6 및 CoAP 센서를 위한 이동성 관리 프로토콜은 이동성 관리 프로토콜로 사용한다.

CoAP 노드에서 핸드오버 지연은 CoAP 노드가 핸드오버하는 동안 발신 또는 수신을 할 수 없는 지연시간을 말하며, 핸드오버 지연시간은 크게 링크 계층 및 네트워크 계층에서의 핸드오버 절차로 인해 발생된다^[5-7]. 그림 5는 CoAP 센서를 위한 이동성 관리 프로토콜을 실행하여 발생하는 핸드오버 지연에 대한 타임라인을 나타낸 것이다. 그림 4에서 흰색 원은 WSN1과 WSN2 사이에 CoAP 노드 B의 핸드오버 동안의 타임라인을 나타낸다. 전체 핸드오버 지연은 L2 핸드오버에 의해 발생하는 링크 설정 시간 (t_{L2}), IP 연결 지연 시간 (t_{IP}) 및 위치 업데이트 지연 시간 (t_{BU})으로 구성된다. 여기서, t_{IP} 는 t_{MD} , t_{AC} 및 t_{BU} 의 합이고, t_{MD} 는 움직임 감지 지연시간을 나타낸다. t_{AC} 는 주소 구성 및 DAD 지연을 나타내며 t_{BU} 는 CoAP 노드 및 WMMS 사이의 바인딩 업데이트 메시지 지연을 나타낸다. 보다 정확한 지연 시간 분석을 위해, CoAP 노드와 WMMS 간의 핸드오버로 인해 발생하는 시그널링 메시지 교환으로 인해 발

생된 지연시간은 다음과 같이 계산될 수 있다. 노드 X, Y 간 단방향 메시지의 전송으로 인한 지연시간 ($t_{x,y}$)은 식1과 같이 정의 된다^[6].

식(1)에서, 첫 번째 항과 두 번째 항은 발신노드 X와 수신노드 Y 사이의 무선 링크 구간 및 유선 구간에서의 지연시간을 나타낸다. 여기서, s 는 시그널링 메시지의 크기를 나타내며, B_{wl} 과 B_w 는 각각 무선 및 유선 링크의 대역폭에 해당되며, L_{wl} 및 L_w 는 무선 및 유선 링크들의 지연시간을 나타낸다. ω 는 라우터의 평균 큐잉 지연시간을 나타낸다. $d_{x,y}-1$ 는 노드 X와 Y 사이에 있는 유선링크 구간에서의 홉 (Hop) 수를 나타내며, S_t 는 터널링 패킷 크기 나타낸다.

$$t_{XY}(s) = \left(\frac{s}{B_{wl}} + L_{wl}\right) + ((d_{x,y} - 1) \left(\frac{s + s_t}{B_w} + L_w + \omega\right)) \quad (1)$$

MIPv6에서 총 핸드오버 지연시간은 t_{L2} , t_{MD} , t_{AC} , t_{BU} 및 t_{RR} 로 구성된다. 여기서, t_{BU} 는 CN_B가 홈 에이전트 (HA)로 바인딩 업데이트 (BU) 할 때 발생하는 지연 시간이다. t_{RR} 은 Return Routability 절차의 수행으로 인해 발생하는 지연 시간이다. MIPv6의 경우, t_{BU} 는 $2(t_{CN_B,HA} + t_{CN_B,CN})$ 로 계산될 수 있으며, t_{RR} 는 $2(t_{CN_B,CN} + t_{CN_B,HA} + t_{HA,CN})$ 로 계산될 수 있다. MIPv6는 HA와 CN_B 사이에 양방향 터널을 사용한다.

HMIPv6는 로컬 이동성 관리를 위해 HA 또는 CN (Corresponding Node)에 바인딩 업데이트 메시지를 전송하지 않고 MAP (Mobility Anchor Point)에 바인딩 업데이트를 전송한다. 이로 인한, t_{BU} 는 $2(t_{CN_B,MAP})$ 로 계산될 수 있다. 제안한 이동성 관리 프로토콜의 경우,

표 1 핸드오버 지연시간

Table 1. Handover latency.

Protocol	전체 핸드오버 지연시간
D_{MIPv6}	$t_{L2} + t_{MD} + t_{AC} + 4(t_{CN_B_HA} + t_{CN_B_CN}) + 2t_{HA_CN}$
D_{HMIPv6}	$t_{L2} + t_{MD} + t_{AC} + 2t_{CN_B_MAP}$
D_{MPCS}	$t_{L2} + t_{MD} + t_{AC} + t_{CN_B_WMMS} + t_{WMMS_CN_B}$

핸드오버 지연은 t_{L2} , t_{MD} , t_{AC} 및 t_{BU} 로 구성된다. 여기서, t_{BU} 는 PUT 바인딩 업데이트 요청 메시지와 ACK 바인딩 업데이트 응답 메시지의 지연을 나타낸다. MIPv6, HMIPv6 및 MPCS 이동성 관리 프로토콜에 대한 총 핸드오버 지연 시간은 표 1과 같다.

2. 패킷 손실 분석

패킷 손실은 노드가 핸드오버 하는 도중에 손실된 패킷을 말한다. 패킷 손실량은 핸드오버 지연시간에 비례하므로, 다음과 같이 핸드오버 프로토콜 $HO_{protocol}$ 은 패킷 손실 $P_{HO_{protocol}}$ ^[5]로 계산 될 수 있다.

$$P_{HO_{protocol}} = \lambda_p D_{HO_{protocol}}$$

여기서, λ_p 는 단위 시간당 패킷 도착율을 나타내며, $D_{HO_{protocol}}$ 는 핸드오버 프로토콜 $HO_{protocol}$ 의 핸드오버 지연시간을 나타낸다. MIPv6, HMIPv6 및 MPCS에 대한 총 패킷 손실량은 표 2와 같이 계산될 수 있다. MPCS의 경우, PUT 홀딩 요청 메시지 및 ACK 응답 메시지가 CN_B와 WMMS 사이의 홀드 모드를 사용하기 위해 사용된다. CN_B 노드가 홀드 모드로 동작할 때 패킷 손실이 거의 발생하지 않으므로, 핸드오버동안 패킷 손실은 거의 발생하지 않는다.

표 2. 패킷 손실 분석

Table 2. Packet loss analysis.

Protocol	총 패킷 손실 양
P_{MIPv6}	$\lambda_p D_{MIPv6}$
P_{HMIPv6}	$\lambda_p D_{HMIPv6}$
P_{MPCS}	Zero

V. 성능 평가

1. 시뮬레이션 구성

이 장에서는, 이동성 관리 성능분석을 위한 시뮬레이션 구성 환경을 설명한다. 시뮬레이션을 위해 NS-2 네트워크 시뮬레이션^[8]을 사용하였다. MIPv6, HMIPv6 및

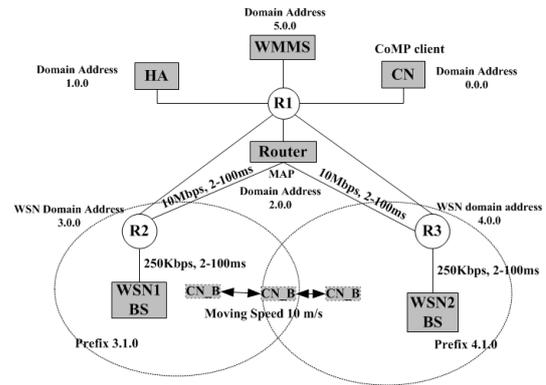


그림 6. 시뮬레이션 토폴로지 및 파라미터

Fig. 6. Simulation topology and parameter.

표 3. 시뮬레이션 파라미터

Table 3. Simulation parameters.

파라미터	Symbols	Value
자동 구성 지연시간	t_{AC}	500 ms
움직임 감지 지연시간	t_{MD}	100 ms
L2 설정 지연시간	t_{L2}	50 ms
유선 링크 대역폭	B_w	10 Mbps
무선 링크 대역폭	B_{wl}	250 Kbps
평균 큐잉 지연시간	ω	0.1 ms
무선 링크 지연시간	L_{wl}	20 ms
유선 링크 지연시간	L_w	2 ms
컨트롤 패킷 크기	S	50 bytes
터널 패킷	S_t	70 bytes
패킷 도착률	λ_p	10 packets/s
CoAP 노드의 평균속도	V	10 m/s

MPCS에 대한 핸드오버 성능을 비교하였다. 그림 6은 시뮬레이션 토폴로지 및 파라미터를 나타낸다. WSN BS의 적용 범위는 200mx200m 지역에서 20m 이내로 설정 하였다.

시뮬레이션 구성은 다음과 같다.

- 정확한 성능 결과 분석을 위해 시뮬레이션 시간을 1000s로 설정하였으며, CoAP 노드가 WSN BS1와 WSN BS2 사이를 직선으로 왕복하도록 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다.
- IEEE 802.15.4의 PHY와 MAC 계층이 사용되었으며, 각 WSN BS는 약 50m의 무선 적용 범위 영역의 반경을 가지고 있다. WSN BS1 및 WSN BS2 사이의 중첩 영역은 5m이다.
- 성능 평가에서 56 Kb/s의 미만의 비트 전송률을 갖춘 UDP 기반의 CBR (Constant Bit Rate) 트래픽, 1024 bytes의 패킷 크기 및 55 packets/s 이하의 패킷 도달률이 사용 되었다.

NOAH (No Ad-hoc Routing Agent)^[9]는 네트워크 계층에서 라우팅 구현을 위해 사용되었고, MIPv6와 HMIPv6의 성능을 시뮬레이션하기 위해 소스 코드를 수정하였다. 표 3은 이동성 관리 프로토콜의 성능을 평가하기 위해 사용되는 기본 시스템 파라미터를 나타냈다. 이 분석에서 사용되는 파라미터의 대부분은 [5~7]에서 찾은 일반적인 값으로 설정 하였다. 표 3에서 파라미터는 핸드오버 지연에 대한 수학적 성능분석을 위해 사용된다.

2. 성능 결과 및 분석

수학적 분석 및 시뮬레이션 결과를 그림 7-9에 나타내었다. 그림 7-9에서, 실선은 시뮬레이션 결과를 나타내고, 점선은 수학적 분석 결과를 나타낸다.

그림 7은 무선 링크 지연시간의 변화에 이동성 프로토콜 기반의 핸드오버 지연 시간 변화를 보여준다. 핸드오버 지연은 WSN BS 및 CoAP 노드 증가 사이의 핸드오버 동안 컨트롤 패킷 수가 커질 수 있다. 그림 7에 나타난 바와 같이, 제안된 MPCS의 핸드오버 지연 시간은 HMIPv6의 결과와 비슷하다. HMIPv6의 경우, 바인딩 업데이트 메시지는 CoAP 노드 및 MAP사이에서 교환된다. 반면, MPCS를 위해 PUT 바인딩 업데이트 요청 메시지 및 ACK 바인딩 업데이트 응답 메시지는 CoAP 노드 및 WMMS 사이에서 교환된다.

그림 8은 패킷 도착율의 관점에서 패킷 손실의 변화를 나타낸다. 패킷 손실율은 WoT 모니터링 서비스^[10]의 신뢰도 면에서 중요하다. 그림 8에 나타난 바와 같

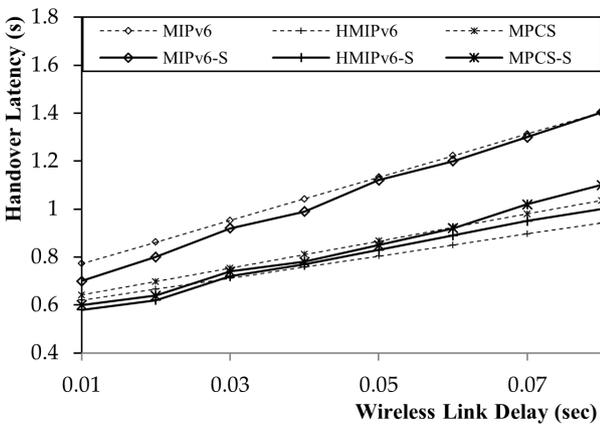


그림 7. 핸드오버 지연시간에 대한 무선 링크 지연 영향
 Fig. 7. Impact of wireless link delay on handover latency.

이, 제안 된 MPCS의 패킷 손실은 MIPv6와 HMIPv6에 비해 작다. MIPv6 및 HMIPv6의 패킷 손실은 패킷 도착율이 증가함에 따라 급격하게 증가한다. 한편, 프로토콜은 홀드 모드 동작을 사용하기 때문에 MPCS에 대한 패킷 손실은 거의 발생하지 않는다.

그림 9에서 무선 링크 지연의 다양성과 관련하여 패킷 손실의 영향을 나타내었다. 무선 링크 지연과 관련하여 패킷 손실을 측정하기 위해 λ_p 값을 10packets/s로 설정 하였다. L_{WL} 는 0.002s로 설정 하였다. 그리고 L_W 은 10ms ~ 80ms을 가변적으로 설정하였다. 성능 결과에서 보이는 것과 같이, MIPv6 및 HMIPv6에서, L_W 가 증가하면 패킷 손실도 증가한다. 하지만, MPCS에서 패킷 손실율이 변화하는 무선 링크 지연시간의 상태에서 MIPv6 및 HMIPv6 보다 작다. MPCS의 경우 CoAP 노드 B가 핸드오버하기 직전에 PUT 홀딩 메시지를 CoAP 노드 A로 전송하기 때문에 CoAP 노드 A

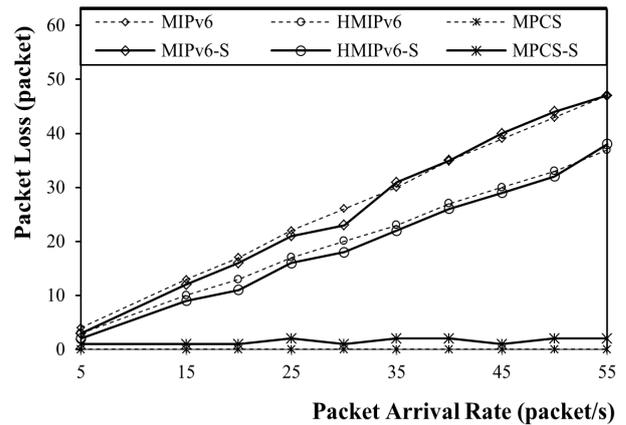


그림 8. 패킷 도착율의 기능에 따른 패킷 손실
 Fig. 8. Packet loss as a function of packet arrival rate.

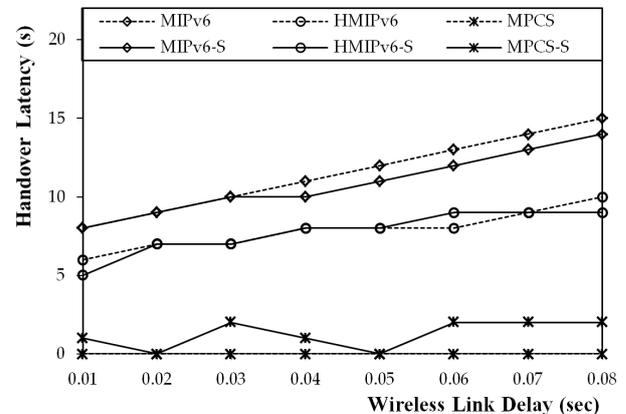


그림 9. 패킷 손실에 대한 무선 링크의 영향
 Fig. 9. Impact of wireless-link delay on packet loss.

는 CoAP 노드 B가 핸드오버하는 시간동안에는 데이터를 요청하지 않는다. 이와 같은 홀딩 방법을 통해 대폭적으로 패킷 손실을 줄일 수 있으며, 데이터 전송의 신뢰성을 높임으로써 응용 서비스를 신뢰성있게 제공할 수 있다. 성능 결과에 보이는 것과 같이 수학적 분석과 시뮬레이션 둘의 결과는 거의 동일하다.

VI. 결 론

본 논문에서는, WoT 환경에서 CoAP 노드의 이동성 관리를 제공 할 수 있는 새로운 IP 이동성 관리 방법을 제안 했다. 이를 위해, 이동성 관리 구조 및 프로토콜을 설계 했다. 효율적인 IP 이동성 지원을 위해 주소 관리 기능을 분리하였다. 또한, 끊김 없는 연결성 지원과 신뢰성 있는 전송을 위해 상세 시그널링 절차 및 주소 관리 방법을 설계하였다. 이동성 관리 프로토콜 설계에서 상호호환성을 위해 기존의 CoAP 메시지 형식 및 메소드를 사용하였다. 성능 분석 결과에서 제안된 이동성 관리 프로토콜은 기존의 이동성 관리 프로토콜에 비해 패킷 손실이 거의 발생하지 않고, 핸드오버 지연 시간이 작으며 성능이 우수하다는 것을 보여준다. 향후에는 CoAP의 이동성에 따른 보안연구가 필요하다.

REFERENCES

- [1] L. Z. Shelby, "Embedded Web Services," IEEE Wireless Communications, Vol. 17, No. 6, pp. 52-57, Dec. 2010.
- [2] Z. Shelby, et al., CoAP, IEEE Internet-Draft, draft-ietf-core-coap-18, June 2013.
- [3] S. Salsano, A. Polidoro, et al., "SIP-based Mobility Management in Next Generation Networks," IEEE Wireless Communications, Vol. 15, Iss. 2, April 2008.
- [4] M. Vial and Z. Shelby, Interface description with WADL in CoRE, IEEE Internet Draft, Sep. 2011.
- [5] C. Makaya and S. Pierre, "An analytical framework for performance evaluation of IPv6-based mobility management protocols," IEEE Trans, Wireless Communication, Vol. 7, No. 17, pp. 972-983, Mar. 2008.
- [6] S. Haseeb and A. F. Ismail, "Comparative Performance Analysis of Mobile IPv6 Protocols: Special Reference to Simultaneous Bindings," Journal of Computer Sciences, Vol. 2, No. 2, pp.

- 154-159, Feb. 2006.
- [7] G. Bag, M. T. Raza, K. H. Kim, and S. W. Yoo, "LoWMob: Intra-PAN Mobility Support Schemes for 6LoWPAN," Sensors, Vol. 9, No. 7, pp. 5844-5877, July 2009.
- [8] The Network Simulator NS-2, Nov. 2013.
- [9] No Ad-Hoc Routing Agent (NOAH)
- [10] J. M. Liang, et al., "An Energy-Efficient Sleep Scheduling With QoS Consideration in 3GPP LTE-Advanced Networks for Internet of Things," IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, Vol. 3, No. 1, pp. 13-22, Mar. 2013.

저 자 소 개



천 승 만(정회원)
 2008년 동양대학교 전자공학과 (공학사)
 2010년 경북대학교 IT대학 전자공학부 (공학석사)
 2010년~현재 경북대학교 IT대학 전자공학부 박사과정 재학 중

<주관심분야 : 차세대 통신망 운용, 이동성 관리, IoT 이동성 관리, U-헬스케어 네트워크 관리>



갈 서 원(학생회원)
 2012년 Guany Dong University of Fiance & Economics (중국) (공학사)
 2013년 경북대학교 IT대학 전자공학부 (석사과정 재학중)

<주관심분야: Mobility Management, IoT 이동성 관리>



박 종 태(평생회원)
 1978년 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1981년 서울대학교 전자 공학과 (공학석사)
 1987년 미국 미시건대학교 정보통신(공학박사)

1989년~현재 경북대학교 전자공학과 교수
 2000년~2003년 IEEE Technical Committee on Information Infrastructure(TCII) 의장
 1988년~1989년 삼성전자 컴퓨터시스템 사업부 수석연구원
 1987년~1987년 미국 AT&T Bell 연구소 연구위원

1984년~1987년 미국 CITI 연구원
 <주관심분야 : 이동통신, 사물인터넷 네트워크 관리, 차세대 통신망 운용, 네트워크 보안, 헬스케어 네트워크>