

저 전력 6LoWPAN 프로토콜 설계

Low-power 6LoWPAN Protocol Design

김 창 훈**, 김 일 휴*, 차 정 우*, 남 인 길*, 이 체 욱*

Chang-Hoon Kim**, Il-Hyu Kim*, Jung-Woo Cha*, In-Gil Nam*, Chae-Wook Lee*

요 약

최근 연구가 활발히 진행되고 있는 IP기반 무선 센서네트워크 기술은 현대인들 삶의 질적 향상이나 요구사항을 만족시키기 위해 반드시 필요한 기술 중의 하나이다. IP기반 무선 센서네트워크의 대표 기술로는 6LoWPAN 프로토콜이 있다. 기존 6LoWPAN 프로토콜 상에서 제공되는 기능 중 단편화 기법은 여러 개의 IEEE 802.15.4 프레임이 나뉘어져 도착하는 것을 말하는데, 센서네트워크의 프로토콜 데이터 단위가 102바이트인데 반해 IPv6의 최대 전송 단위가 1280바이트로 큰 차이를 보이기 때문에 이를 극복하기 위한 기술로 단편 패킷 전송의 특성상 많은 에너지 소모가 일어난다. 본 논문에서 제안한 ID 기반 단편 패킷 전송 기법을 적용한 결과 주소 방식(16, 64bit)에 따라 약 7~22% 정도 전송횟수가 감소되었다. 뿐만 아니라, 기존 LOAD 라우팅 프로토콜을 사용하여 경로 설정을 할 경우 센서노드가 통신을 할 수 없는 경우가 아니면 한번 설정된 경로는 변하지 않는다. 이는 특정 노드의 에너지 고갈을 야기 시키고 네트워크 전체에 영향을 주기 때문에 적절한 에너지 분배가 이루어져야 한다. 에너지 분배를 고려할 수 있도록 제안한 LOAD 라우팅 프로토콜은 통신이 이루어질수록 전체 네트워크 내에 모든 노드들의 에너지는 균등하게 유지됨을 보였다. 또한 한 번의 라우팅 수행 시 이웃 노드들의 정보를 획득할 수 있어 원 홉 데이터 전송에 소모되는 에너지를 절약할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안된 6LoWPAN 프로토콜은 에너지 제약 조건이 심한 무선 센서네트워크 환경에 매우 적합하다 할 수 있다.

Abstract

Due to their rapid growth and new paradigm applications, wireless sensor networks(WSNs) are morphing into low power personal area networks(LoWPANs), which are envisioned to grow radically. The fragmentation and reassembly of IP data packet is one of the most important function in the 6LoWPAN based communication between Internet and wireless sensor network. However, since the 6LoWPAN data unit size is 102 byte for IPv6 MTU size is 1280 byte, it increases the number of fragmentation and reassembly. In order to reduce the number of fragmentation and reassembly, this paper presents a new scheme that can be applicable to 6LoWPAN. When a fragmented packet header is constructed, we can have more space for data. This is because we use 8-bits routing table ID instead of 16-bits or 64-bits MAC address to decide the destination node. Analysis shows that our design has roughly 7% or 22% less transmission number of fragmented packets, depending on MAC address size(16-bits or 64-bits), compared with the previously proposed scheme in RFC4944. The reduced fragmented packet transmission means a low power consumption since the packet transmission is the very high power function in wireless sensor networks. Therefore the presented fragmented transmission scheme is well suited for low-power wireless sensor networks.

Keywords : Wireless Sensor Networks, 6LoWPAN, Fragmentation, LOAD Routing

I. 서 론

정보통신 기술이 발전하고 유비쿼터스 컴퓨팅이라는 새로운 정보기술의 혁명이 야기됨으로써, 무선 센서네트워크의 필요성은 증가되었다. 무선 센서네트워크는 메모리나 배터리, 컴퓨팅 성능이 제한적인 하드웨어 자원을 가진 수많은 센서 노드들이 특정 환경에 설치되어 네트워크를 구성한 후 다양한 정보 수집을 위한 매체로 활용된다[1]. 최근에는 무선 센서네트워크를 배경으로 한 기

존의 인터넷 망과 호환성이 뛰어난 IP기반 USN(Ubiquitous Sensor Networks)에 대해 연구가 활발히 이루어지고 있다.

IP-USN은 언제 어디서나 모든 사물에 네트워크를 연결하여 지속적인 서비스를 제공 받는다는 취지의 유비쿼터스 기술 중 하나로서, 센서를 통해 환경 정보를 수집하고 IP-USN을 통하여 실시간 정보를 수집/관리하는 기반 기술이다. IP-USN 기술 중 대표적인 기술로서 6LoWPAN(IPv6 Low Power Personal Area Networks)[2]이 있다. IEEE 802.15.4를 기반으로 저전력, 저비용으로 구현한 IP-USN 기술인 6LoWPAN은 센서 노드에 IPv6 주소 및 경량화 된 IP 프로토콜을 올리려는 기술로서 한정된 전력과 데이터 처리량이 많지 않고, IP 기반의 무선 환경 어플리케이션에 적합한 기술이다[3]. 6LoWPAN의 주요 기능으로서 IPv6의 대용량 데이터를 무선 센서네트워크에서 사용하기 위해 단편과

* 대구대학교 **대구대학교(교신저자)

투고 일자 : 2011. 7. 25 수정완료일자 : 2011. 10. 19

계재확정일자 : 2011. 11. 1

* 이 논문은 2007년도 대구대학교 신입교수 학술연구비지원에 의한 논문임.

제조업 기술이 제안되었지만 단편화 전송의 특성상 많은 단편 전송이 일어나게 되고 이는 센서 노드의 전력 손실에 심각한 영향을 미치는 문제점이 있다. 따라서 센서 노드의 부하를 줄여줄 뿐만 아니라 에너지 절약을 위해 단편 패킷의 전송횟수를 줄이는 방안에 대해 고려한다. 6LoWPAN에서 제공하는 다른 기능으로서 LOAD 라우팅 프로토콜이 있다. 이 프로토콜은 센서 노드에 의해 센싱된 데이터를 목적지 노드로 전달하기 위해 경로를 탐색하고 결정하는 동작을 수행하며, 최단 거리에 의한 경로 선택 방식과 오버헤드 감소를 목적으로 목적지 노드만이 경로 응답 메시지를 전송한다[4]. 경로 설정에 있어서 간략화 되고 최적화된 기능을 수행하지만, 한번 선택된 경로는 거의 변동이 없고, 데이터 전송 시 선택된 특정 노드들만 전송을 수행하기 때문에 전체 센서네트워크 차원에서 에너지 소모의 불균형이 일어난다. 이는 특정 노드의 에너지 고갈뿐만 아니라 심지어 네트워크 전체의 분열을 가져올 수 있기 때문에 본 논문에서는 센서 노드의 에너지 분배를 능동적으로 관리하고, 신뢰성 있는 데이터 전송을 위해 에너지 관리 방법과 신뢰성 있는 경로 설정 방법을 제안한다.

II. 6LoWPAN 프로토콜

센서네트워크에서 센싱된 데이터를 수집 노드로 전달하기 위해 경로 설정을 위한 다양한 라우팅 알고리즘이 제안되었으며, Ad hoc 망에 적합한 대표적인 알고리즘으로 LOAD와 AODV(Ad hoc On Demand Vector Routing) 등이 있다.

LOAD는 Ad hoc 네트워크에 잘 알려져 있는 AODV 프로토콜에 기반한 라우팅 프로토콜로서 노드 간에 데이터 전송 요구가 있을 시 경로 탐색의 절차를 수행하고, 획득한 경로 정보를 라우팅 테이블을 두어 관리하면서 데이터를 전송 하는 요구 기반의 라우팅 프로토콜이다. LOAD 프로토콜이 비록 AODV를 간략화

시켜 저 비용 라우팅 기능을 수행한다지만, 6LoWPAN상에서 동작해야 하는 특성상 단편화 문제를 배제할 수 없다. 이 절에서는 6LoWPAN에서 제공되는 단편화 기법과 라우팅 프로토콜의 특징에 대해서 알아본다.

2.1 단편화 기법[5-7]

단편은 큰 사이즈의 데이터를 여러 개의 조각으로 나누는 것으로, 6LoWPAN 프로토콜을 적용한 Adaptation Layer에서 제공하는 단편화 기능은 사이즈가 큰 IPv6 데이터를 IEEE 802.15.4에 맞는 크기로 분할하여 전송하고, 수신측에서는 단편된 프레임들을 조합하여 완전한 데이터로 복구하는 기능을 말한다. 단편된 패킷을 전달하고, 재조합을 위해서 단편화 헤더정보에는 Datagram Size, Datagram Tag, Datagram Offset이 사용된다. Datagram Size는 단편이 일어나기 전에 완전한 IPv6 데이터의 크기를 나타내고, Datagram Tag는 단편 고유번호를 나타낸다. Datagram Offset은 단편된 패킷들이 비연결성 특징을 가진 무선 센서네트워크 환경에서 전달되는 패킷의 순서를 보장하고, 중복 수신을 방지하기 위한 값으로 단편이 일어난 후에 결정된다. 그림 1은 RFC4944에 정의된 단편 헤더의 구조를 나타낸 것이다.

Adaptation Layer에서 제공하는 단편화 기능으로는 데이터를 분할하고 재조합하는 과정과 단편된 패킷을 목적지로 전달하는 기능을 수행한다. 전체적인 과정을 살펴보면, 송신측의

Adaptation Layer에서는 IP계층으로부터 데이터를 받기 전까지 대기 상태로 존재하다가 만약 IPv6 데이터 전달 요청을 받게 되면, 전체 IPv6 데이터를 가용한 Payload 공간에 맞는 크기로 분할하고, 분할된 첫 번째 데이터에 First fragment 헤더를 추가한 후 라우팅 테이블에 기록된 경로 정보를 이용하여 전송한다.

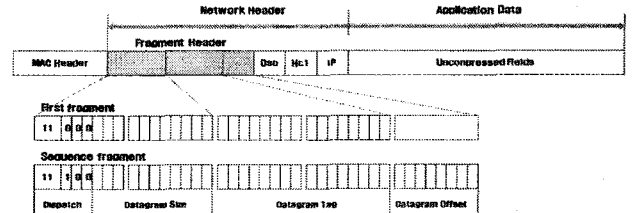


그림 1. 단편 헤더 구조

Fig. 1. Structure of fragmentation head

첫 번째 전송이 끝나면 남은 단편 조각들에 대해서도 Sequence fragment 헤더를 이용하여 전송한다. 수신측의 Adaptation Layer에서도 MAC계층으로부터 데이터를 전달받기 전까지 대기 상태로 있다가 만약 First fragment 헤더와 Sequence fragment 헤더를 가진 단편 패킷을 비순차적으로 수신하게 되면 재조합 과정을 수행한다. 재조합 과정을 위해서는 단편된 패킷의 원본 데이터가 무엇인지를 식별하고, 어느 부분의 조각인지를 판단할 수 있어야 하며, 적절한 재조합 동작의 시간을 설정하여야 한다. 수신된 헤더의 Datagram Tag와 Datagram Offset값을 통해 완전한 데이터를 복구할 수 있고, 이는 설정된 시간 내에 수행되어야 한다. 그렇지 못한 경우 모든 처리는 실패로 간주하고 재조합 중이던 데이터는 모두 버리게 된다.

2.2 LOAD 라우팅 프로토콜[8-10]

LOAD(6LoWPAN Ad hoc Routing Protocol)는 Ad hoc 망에 적합한 대표적인 라우팅 기법으로 1997년 IETF internet draft에서 처음 제안한 AODV(Ad-hoc On demand Distance Vector) 프로토콜을 6LoWPAN 특성에 맞춰 간략화하고 최적화시킨 프로토콜이다. 목적지로 데이터 전송이 필요한 경우에만 경로를 생성하는 요구기반 프로토콜이며, EUI-64 또는 16비트 주소를 사용한다. AODV에 비교하면, 컨트롤 메시지의 사이즈를 줄이기 위해 목적지 시퀀스 넘버를 사용하지 않고, 길 찾는 과정을 간략화하였다. 또한 메시지 루핑 방지를 위해 오직 목적지 노드만 RREQ(Route Request) 메시지에 대해 RREP(Route Reply) 메시지를 보내도록 설계하였다. 그림 2는 6LoWAN상에서 동작하는 LOAD 라우팅 프로토콜의 메시지 전달 흐름을 나타낸 것이다. 실제 데이터는 소스 노드나 목적지 노드의 Application Layer에서 처리되지만, 경로 설정이나 데이터 전달 과정에 참여하는 중간 노드들은 Adaptation Layer에서 모든 동작이 이루어지기 때문에 센서 노드에 부하되는 오버헤드를 줄여준다. 라우팅 동작은 데이터를 전송하고자 하는 노드가 데이터를 받아야 할 목적지 노드의 경로 정보를 모를 경우 경로를 설정하기 위해 수행된다. 만약 소스 노드가 목적지 노드로 전달하기 위한 경로 정보를 가지고 있지 않은 경우 데이터를 전송하기 전에 소스 노드는

Route Request 메시지(그림 3)를 브로드캐스트하여 목적지 노드의 경로 정보가 필요함을 알린다.

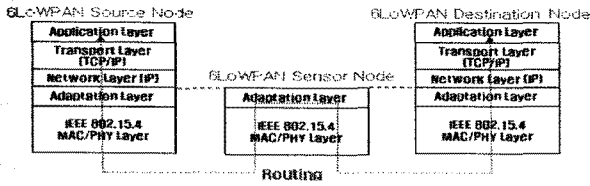


그림 2. 라우팅 과정에서 데이터 전달 흐름
Fig. 2. Flow of data in routing

Route Request 메시지는 RREQ ID, Route cost, Originator/Destination Address 정보가 담겨져 있다. RREQ ID는 메시지 식별을 위해 사용되며, Route cost는 최단 경로 선정 시 필요한 값으로 한 홉씩 전달될 때마다 1씩 증가시킨다. Originator/Destination Address는 요청한 노드의 Link Layer 주소와 목적지 노드의 Link Layer 주소를 표시한다. 이 메시지를 받은 이웃 노드들은 RREQ ID를 보고 이전에 전달된 메시지인지를 판단한다. 만약 처음 수신한 메시지인 경우, 목적지가 누구인지를 판단한 후 자신이 아니라면 Route Request Table을 생성/기록하고 Route cost를 1증가시켜 다음 전송을 수행한다. 이전에 받은 메시지인 경우 Table의 Route cost와 비교한 후 큰 경우는 버리고 작은 경우 Table 정보를 업데이트 한다. 이 과정은 목적지 노드가 Route Request 메시지를 수신할 때까지 반복되고, Route Request를 목적지 노드가 받게 되면 전송을 중단한다. 목적지 노드에서는 자신의 정보를 Route Reply 메시지(그림 4)에 추가하여 응답을 보낸다. Route Reply 메시지는 Route Request 메시지에 의해 선택된 경로를 통해 유니캐스트 방식으로 전달되며, 이 메시지를 받은 중간 노드들은 RREQ ID를 통해 테이블을 검색하고 기록된 정보로 소스노드를 찾아 가게 된다. Route Reply 메시지 전달은 동일한 RREQ ID의 Route Request 테이블을 가진 노드들만이 참여하게 되고 메시지의 정보를 이용하여 Routing Table을 생성/기록한다. 이 과정 또한 소스노드가 Route Reply 메시지를 수신할 때까지 이루어지며, 소스노드가 이 메시지를 수신하게 되면 데이터 전송이 가능한 위해 목적지 노드의 경로를 알 수 있게 된다.

Type(0x01)	R D O Reserved	RREQ ID	Route cost
Link Layer Destination Address (16 or 64 bit)			
Link Layer Originator Address (16 or 64 bit)			

그림 3. Route Request 메시지
Fig. 3. Route request message

Type(0x02)	R D O Reserved	RREQ ID	Route cost
Link Layer Destination Address (16 or 64 bit)			
Link Layer Originator Address (16 or 64 bit)			

그림 4. Route Reply 메시지
Fig. 4. Route reply message

2.3 AODV 라우팅 프로토콜[11-13]

AODV 라우팅 프로토콜은 1999년 C.Perkins에 의해 제

안된 Ad Hoc 네트워크에 잘 알려진 라우팅 프로토콜로서 노드 간에 데이터 전송 요구가 있을 때 경로 탐색 절차를 수행하고 획득된 경로 정보를 테이블로 관리하고 유지하며 데이터를 전송하는 On-Demand 방식의 라우팅 프로토콜이다. 이 프로토콜은 필요시에만 라우팅을 수행하는 방법으로 기존의 DSDV(Destination-Sequenced Distance Vector) 라우팅 보다 라우팅 정보를 얻기 위한 브로드캐스팅의 수를 크게 줄여 에너지 소모를 감소할 수 있다[2]. 하지만 그것만으로는 센서 노드의 에너지를 효율적으로 사용하기에는 충분하지 못하였기에 그에 관련된 많은 연구들이 이루어지게 되었다. 우선 LOAD 프로토콜과 AODV 프로토콜의 차이점을 간략하게 비교한 다음 AODV 프로토콜에서는 어떤 방식으로 에너지를 효율적으로 사용하는가에 대해 연구된 내용들을 살펴보자. 기본적으로 센싱된 데이터를 전달하기 위한 경로 정보가 필요시 RREQ 메시지를 주변 노드에게 브로드캐스트 하고, 주변 노드들은 다시 주변 노드들에게 RREQ 메시지를 브로드캐스트 하여 목적지까지의 경로를 찾게 된다. 이 경로를 탐색하고 결정하는 과정은 앞에서 설명한 LOAD 라우팅 프로토콜과 유사하다. LOAD에서 최적화를 위해 제외되었지만 AODV에 존재하는 기능들을 살펴보면, 두 가지 다른 특징이 있다. 먼저 AODV는 sequence number를 사용하고 이를 확인하여, 역 경로를 저장하는 방식으로 사용한다. 이는 중간 노드들의 메시지 루프를 방지하기 위함이다. 또 다른 기능으로는 경로 유지 기능, 경로 복구 기능을 가진다. 만약 중간 노드가 최종 목적지로의 경로를 이미 알고 있는 경우에 최종 목적지 대신에 RREQ 메시지를 받은 중간 노드에서 RREP 메시지를 소스 노드로 보내게 된다.

처음 제안된 요구 기반 라우팅 프로토콜들은 최단거리 선정에 기반하여 빠른 경로를 찾는데 초점을 두었다. 하지만 센서네트워크에서 크게 생각해야 할 문제점은 센서 노드의 에너지 고갈로 인한 네트워크의 분할이다. 센서 노드의 에너지를 효율적으로 사용하여 전체 네트워크의 수명을 연장시키는 측면에서 그 중요성이 부각되면서 많은 연구가 이루어지게 되었다.

센서네트워크의 에너지를 효율적으로 사용하기 위해서 크게 두 가지 방식을 가졌다. 먼저 센서 노드가 소모하는 에너지를 최소화 하여 센서네트워크의 수명을 연장시키는 방법과 전체 센서 노드의 에너지 소모를 공평하게 분배하여 전체 노드의 생존 시간을 최대한으로 늘리는 방법이 있다. 센서 노드의 에너지 소모를 최소화하는 대표적인 방법으로는 전송 거리에 따라 전송 신호의 세기를 조절하여 데이터를 전송하는 것이다. 이 방식을 사용하기 위해서는 주변 노드에 대한 거리 정보를 미리 알고 있어야 하며 그에 따른 추가적인 에너지 소모를 요구한다는 단점이 있다. 두 번째는 전체 센서 노드의 에너지 소모를 공평하게 분배하는 방법으로 라우팅 수행 시에 각 센서 노드들은 전체 센

서 노드가 가진 평균 에너지 값을 알고 그 평균값 이상인 노드들만이 데이터 전송에 참여를 하는 방식이다. 하지만 이러한 방식은 잔여 에너지가 평균 이하의 노드들은 데이터 전송에 참여할 수 없기 때문에 최단거리 경로 선택에는 좋은 영향을 미치지 못하는 단점이 있다.

III. 저 전력 프로토콜 설계

기존의 6LoWPAN 프로토콜에서 최단거리 경로 선정 방식을 사용하는 라우팅 프로토콜은 처음 선택된 경로는 쉽게 변하지 않는 특성으로 인해 특정 센서노드들에게만 집중적으로 에너지 소모를 야기 시키는 문제점이 있다. 또한 일반적인 데이터 전송은 하나의 정보를 한번에 전송하지만 단편 패킷 전송의 특성상 하나의 IP기반 정보를 한번의 전송으로 전달할 수 없고 IP 데이터를 보내기 위해서는 수~수십번의 패킷을 전달해야 하는데, 이는 선택된 경로상의 노드들에게 엄청난 에너지 소모를 발생시키고 심각한 경우 특정 노드의 동작이 멈추어 버림으로써 네트워크 분열을 일으킬 수도 있다. 본 논문에서 제안한 방식은 라우팅 과정에 있어서 전체 센서노드의 에너지를 고려한 능동적인 경로선정이 가능하고, 오버헤드가 발생하지 않는 응답 메시지를 보냄으로서 신뢰성을 보장한다. 또한 원 홉 또는 멀티 홉 상의 모든 노드들에게 단편 패킷을 전달할 때 간략화된 헤더 정보를 이용하여 가용 데이터 공간을 늘리고 전송하는 패킷의 수를 감소시킴으로써 전송 에너지를 절약하게 된다. 제안한 라우팅 기법에서는 그림 5와 그림 6의 메시지를 사용한다.

Type(0x01)	R	D	O	Reserved	RREQ ID	Route cost
Link Layer Destination Address (16 or 64 bit)						
Link Layer Originator Address (16 or 64 bit)						
Table id						
Remaining Energy						

그림 5. 제안한 Route Request 메시지
Fig. 5. Proposed route request message

Type(0x01)	R	D	O	Reserved	RREQ ID	Route cost
Link Layer Destination Address (16 or 64 bit)						
Link Layer Originator Address (16 or 64 bit)						
Table id						

그림 6. 제안한 Route Reply 메시지
Fig. 5. Proposed route request message

기존 Route Request 메시지에 A flag, Link Layer Self Address, Table id, Remaining Energy를 추가하였다. A flag는 Ack 메시지를 표시하는 비트로 전달 받은 Route Request 메시지를 다시 전달할 때 추가된다. 한 번의 전송으로 이웃하는 모든 노드들이 메시지를 수신할 수 있는 브로드캐스트의 특성을 이용한 것으로 그림 7의 1번 노드가 Route Request 메시지를 받고 다음 홉으로 재전송할 때 Route Request 메시지의 A flag를 set하고, 자신의 주소와 자신이 생성한 Table id, 에너지 잔량 정보를 추가하여 재

전송을 하게 된다. 이때 Ack1이 포함된 Route Request 메시지를 수신한 S 노드는 동일한 RREQ ID와 Route cost로 자신이 보낸 메시지임을 알고 버려야 하지만, A flag가 set 되었을 경우 Link Layer Self Address의 주소를 통해 누구의 Ack 인지 판단하여 Link Layer Self Address와 Table id로 이웃 테이블(표 1)을 생성/기록한다. Route Request를 보낸 노드는 추가적인 라우팅 과정 없이 이웃의 정보를 알 수 있으며, 이웃 테이블의 정보는 단편 패킷을 원 홉으로 전송하고자 할 때 헤더에 주소를 넣지 않고 이웃 테이블의 Table id 정보를 사용하여 전송할 수 있으므로 단편 헤더의 크기도 줄여준다.

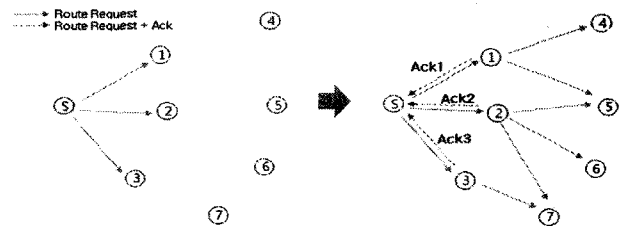


그림 7. Route Request+Ack 메시지 전달 과정
Fig. 8. Message propagation for request+ack

동시에 같은 메시지를 받는 다음 홉 상의 노드들은 RREQ ID에 대한 Route Request 정보가 없으므로, 처음 수신한 메시지임을 알게 된다. 처음 수신하는 노드는 Route Request 테이블 및 Routing 테이블(표 2)을 생성/기록하는데, 만약 다른 경로를 통해서 동일한 RREQ ID를 가진 메시지를 추가로 수신할 경우 Route cost와 Remaining Energy정보를 함께 비교하여 동일 cost 내에서 잔여 에너지가 가장 많은 노드를 선택하고 Route Request 테이블을 업데이트한다. 이 과정에서 이미 에너지 잔량이 적은 노드는 능동적으로 경로 선택에서 제외되고, Route Reply 메시지는 에너지가 보다 많은 노드를 통해서 소스 노드로 향할 수 있게 된다. 목적지 노드가 Route Request 메시지를 받은 경우 응답을 위한 Route Reply 메시지에 Table id를 추가하여 소스 노드로 보내면, 이 메시지를 받은 선택된 경로상의 모든 노드들은 Routing 테이블에 이 정보를 기록한다. 그림 8은 제안한 라우팅의 동작 과정을 나타낸다.

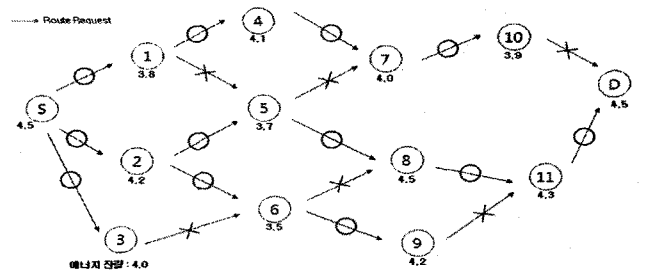


그림 8. (a) 제안한 경로 요청 과정
Fig. 8. (a) Proposed path request process

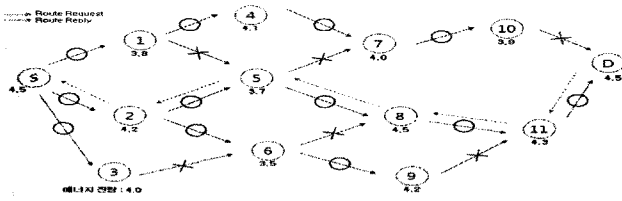


그림 8. (b) 제안한 경로 응답 과정

Fig. 8. (b) Proposed path response process

이 Table id는 단편 패킷을 멀티 홉으로 전송하고자 할 때 첫 번째 단편 패킷을 수신한 후 단편 테이블을 만들기 위해 사용되는 정보이다. 멀티 홉으로 전송하는 단편 헤더에 주소를 넣지 않고 라우팅 테이블의 Table id 정보를 사용하여 전송하게 함으로써 단편 헤더의 크기를 감소시킬 뿐만 아니라, 전송 횟수도 줄일 수 있다.

표 1. 제안한 이웃 테이블

Table 1. Proposed neighbor table

항목	설명
Table ID	테이블 고유 번호
Neighbor Address	이웃 노드의 주소

표 2. 제안한 라우팅 테이블

Table 2. Proposed routing table

항목	설명
Table ID	테이블 고유 번호
Destination address	목적지 노드의 링크 계층 주소
Next hop Address	목적지로 가는 경로상의 다음 노드의 링크 계층 주소
Status	경로의 상태 정보
Lift time	경로의 삭제 또는 만료 전까지의 유효 시간(ms)

라우팅 과정이 완료되고, 단편 패킷을 전송해야 할 경우, 첫 번째 단편 패킷은 6LoWPAN에 정의된 헤더를 그대로 사용하여 전송하고 이 패킷을 수신한 노드들이 두 번째 단편 패킷부터 생략될 단편 헤더의 정보를 표 3에서 나타낸 단편 테이블을 생성하기 위해 사용된다.

표 3. 제안한 단편 테이블

Table 3. Proposed fragmentation table

항목	설명
Table ID	테이블 고유 번호
Datagram Size	단편이 되기 전의 패킷 크기 (목적지 노드만 가짐)
Datagram Tag	단편된 패킷간의 동일한 식별자
Datagram Count	단편된 패킷의 개수 정보 (Datagram Size ÷ Payload Size)

그림 9는 단편 패킷을 전송하기 위해서 제안한 헤더 포맷으로 dispatch 값을 0xF0로 설정하여 두 번째 이후의 단편 패킷을 전달할 때 사용된다. 이 패킷을 구성하기 위해 기존에 단편 패킷을 멀티 홉으로 전송할 때 사용된 Mesh 헤더는 생략하고 M flag로 멀티 홉인지 원 홉인지를 표시한 후 Routing 테이블의 Table id를 추가하여 전송한다.



그림 9. 제안한 단편 헤더

Fig. 9. Proposed fragmentation head

이때 생략된 Mesh 헤더의 공간은 Payload로 사용되기 때문에 단편의 횟수와 전송 횟수를 줄일 수 있게 된다. 이 패킷을 수신한 다음 경로의 노드는 M bit를 보고 0인 경우 원 홉 전송 즉, 자신을 목적지로 인식하고 1인 경우 멀티 홉으로 전송해야 하기 때문에 라우팅 테이블을 참조한다. Table id와 Datagram Tag값은 패킷을 식별하기 위해 사용되고, Datagram Offset과 Datagram Size값은 목적지 노드가 재조합을 할 때 사용된다. Datagram Count는 전체 단편된 패킷의 개수를 나타내며, 한번 단편 패킷이 전달될 때마다 1씩 감소하고 0이 되면 단편 테이블은 삭제한다. 그림 10은 제안한 시스템의 전체적인 동작과정을 나타낸다.

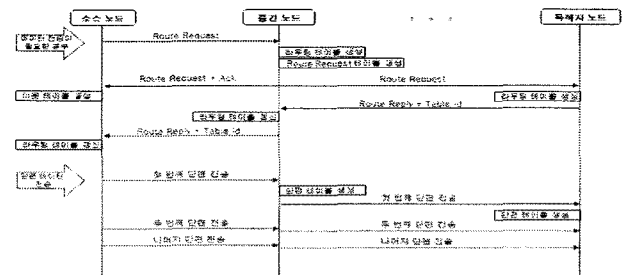


그림 10. 제안한 시스템의 동작과정

Fig. 10. Proposed data communication flow

IV. 성능평가

본 논문에서 제안한 기법의 성능을 평가하기 위해 6LoWPAN 프로토콜을 C언어로 구현한 후 유비쿼터스신기술연구센터[14]에서 제작된 UTRC-SN110 센서노드에 IEEE 802.15.4를 탑재하고, Adaptation Layer를 추가하였다. 테스트환경은 신호에 영향을 미치지 않도록 장애물이 없는 공간에서 12개의 노드를 그림 7과 같은 형식으로 배치하였다. 제안한 알고리즘 검증은 전송 시 패킷의 손실 보다는 패킷의 전송 횟수가 감소되는데 중점을 두고 최대 3홉 전송을 시도하였다.

기존 6LoWPAN 프로토콜에서 제공되는 단편화 기법과 수정된 단편화 기법을 통하여 각각 5회의 IP 데이터를 전송한 결과

그림 11과 같이 전송 횟수가 감소됨을 볼 수 있었다. 센서 노드의 주소를 16비트 주소로 사용할 경우 제안된 방식이 약 7%정도 전송 횟수가 감소되고, 64비트 주소를 사용한 경우 더 많은 Payload 공간을 확보할 수 있어서 22% 정도 전송 횟수가 감소됨을 보였다. 제안한 라우팅 프로토콜의 성능 평가를 위해 표 4와 같은 전송 시나리오를 설정한 후 각 전송에 따른 에너지 소모량을 정량적으로 분석하였다. [15]에서 제시한 시뮬레이터 기반 센서 노드의 전력 모델에 기반하여, 식(배터리 가용 전류량 - 송/수신시 소모되는 전류)을 잔여 에너지 계산에 사용하였다. 가용 배터리 전류량을 대략 500mA라 하고, [12]에서 측정한 값에 의해 송신시에는 평균 17mA, 수신시에는 평균 20mA를 계산 값으로 사용한다.

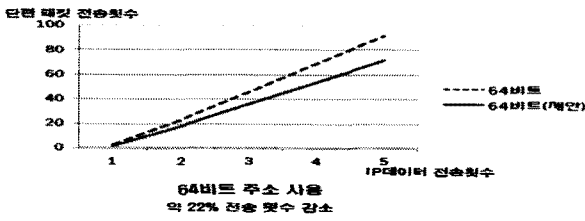


그림 11(a). 단편 패킷 전송 결과

Fig. 11(a). Result of fragmentation packet transmission

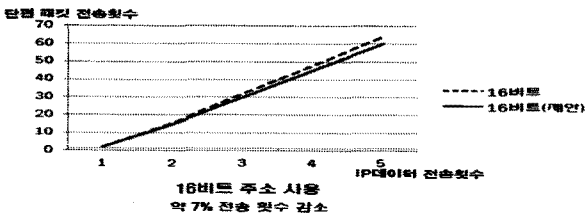


그림 11(b). 단편 패킷 전송 결과

Fig. 11(b). Result of fragmentation packet transmission

이 값은 상대적인 값이며, 기존의 라우팅 프로토콜과 제안한 프로토콜의 에너지 소모 측면에서 차이점을 분석하기 위해 사용하였다. 정량적 평가를 위해 설정한 시나리오를 보면 각 노드가 라우팅 테이블을 유지하는 시간은 5분으로 설정하고, Packet(x)가 전달될 때마다 라우팅을 수행하여 새로운 경로를 선택하게 된다. 한번 설정된 경로는 테이블에 기록된 전송 횟수만큼의 데이터를 전송하게 되고, 송/수신에 따른 에너지 소모량을 적용한 결과 라우팅 방식에 따라 다음과 같은 에너지 소모가 일어나는 것을 보였다.

기존에 제안된 LOAD 라우팅 프로토콜에서는 경로 설정의 과정을 몇 번을 수행하여도 센서 노드가 동작을 멈추지 않는 이상 선택된 경로에는 변화가 없었고, 그림 14와 같이 특정 노드 2, 5, 8에서 집중적인 에너지 소모가 일어남을 알 수 있다. 하지만 수정된 라우팅 프로토콜에서는 데이터 전송이 이루어질수록 전체 센서노드의 에너지가 균등해지는 것을 보였다.

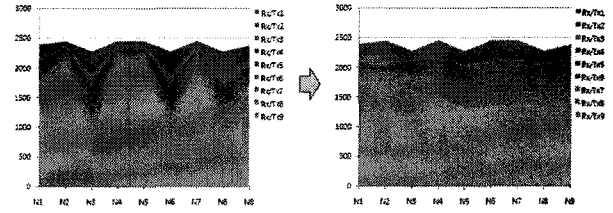


그림 12. 라우팅 프로토콜에 따른 에너지 변화
Fig. 12. Energy consumption according to routing protocol

표 4. 평가 항목 및 분석 결과
Table 4. Performance analysis

Packet	전송시간	데이터 전송횟수	선택된 경로
Data1	10:02	4	1-3-6-8-9
Data2	10:09	5	1-4-6-8-9
Data3	10:15	3	1-2-5-8-9
Data4	10:25	4	1-2-6-7-9
Data5	10:32	4	1-3-5-8-9
Data6	10:40	5	1-4-6-7-9
Data7	10:51	3	1-2-5-8-9
Data8	10:59	4	1-3-6-7-9
Data9	11:10	4	1-4-5-8-9

V. 결론

IP기반의 무선 센서네트워크는 접근이 어렵고 자원적인 제약 사항이 많은 센서 노드를 사용하는 특징 때문에 센서 노드의 생존 시간을 늘리고 전체 네트워크의 수명을 연장시키기 위한 연구가 필요하다. 센서 노드의 에너지를 효율적으로 관리하기 측면으로 두 가지 방법을 고려해 보았다. 센서 노드의 전력 소모를 줄여 수명을 연장시키는 방법과 전체 센서네트워크 내에서 사용되는 각 센서 노드들의 에너지를 균등하게 사용함으로써 네트워크 수명을 연장시키는 방법을 고려하였다. 제안된 단편 전송 기법은 6LoWPAN 프로토콜의 데이터 전달 방식에서 목적지를 식별하기 위해 사용하는 주소 대신 기존 헤더의 정보를 테이블에 관리하고, 테이블 ID를 교환함으로써 가용 Payload 공간을 더 많이 사용하여 단편 패킷의 전송 횟수를 감소시켰다. 실험 결과 약 22% 정도 전송 횟수가 감소됨을 보였고, 센서 노드가 통신할 때 소모되는 전력이 가장 크다는 점에서 전송 횟수의 감소는 센서 노드의 에너지를 절약하는데 큰 영향을 미친다. 또한 에너지를 고려하지 않고 오직 최단거리 경로 선정 방법을 사용하여 일부 특정 노드에게 심각한 에너지 소모를 야기 시키는 LOAD 라우팅 프로토콜에 전체 센서노드의 에너지를 효율적으로 분배할 수 방법을 적용해 보았다. 제안한 라우팅 기법에서는 전체 센서 노드가 경로 설정에 평등하게 참여를 하게 되고 소모되는 에너지 또한 전체 네트워크 차원에서 균등하게 유지될 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제안하고 구현한 경량화된 6LoWPAN 프로토콜은 센서 노드의 부족한 자원을 효율적으로 관리하고 센서네트워크 전체의 수명을 연장시킴으로써 무선 센서네트워크 환경을 사용하는 다양한 분야에서 효율적으로 사용될 수 있다.

참고 문헌

[1] Jennifer Yick, Biswanath Mukherjee, Dipak Ghosal, "Computer Networks," The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, Vol. 52, Issue 12, pp. 2292-2330, Aug. 2008.

[2] G. Montenegro and N. Kushalnagar, "Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks," RFC4944, IETF, September 2007.

[3] Geoff Mulligan, "The 6LoWPAN architecture," ACM, Proceedings of the 4th workshop on Embedded networked sensors, pp. 78-82, 2007.

[4] Chirwa Weston, Pham Tuan Tu, Bakhatnur Baiteli, Sin Yi Ma, "Energy-aware and QoS Routing in 6LoWPAN Mesh Networks", ZRDC Conference, 2007.

[5] Mbonisi Masilela, Ju Wang and Ramana Pidapati, "Supporting Data-Intensive Wireless Sensor Applications using Smart Data Fragmentation and Buffer Management," Innovations in Information Technology Innovations 4th International Conference, pp. 367-371, 2007.

[6] HyunGon Kim, "Protection against packet fragmentation attacks at 6lowpan adaptation layer," Convergence and Hybrid Information Technology ICHIT International Conference, pp. 796-801, 2008.

[7] Xin Ma, Wei Luo, "The analysis of 6LoWPAN technology," Computational Intelligence and Industrial Application PACIIA Pacific-Asia Workshop, Vol.1 pp.963-966, 2008.

[8] Nidhi S Kulkarni, Balasubramanian Raman, Indra Gupta, "On Demand Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks : A Review," Advance Computing Conference IACC IEEE International, pp. 586-591, 2009.

[9] Ali Hammad Akbar, Ki-Hyung Kim, Won-Do Jung, Ali Kashif Bashir, Seung-Wha Yoo, "GARPAN: Gateway-Assisted Inter-PAN Routing for 6LoWPAN," Computational Science and Its Applications ICCSA, Vol. 3981, pp. 186-194, 2006.

[10] C. Perkins, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," RFC3561, IETF, July 2003.

[11] Zhang Zhaoxiao, Pei Tingrui, Zeng Wenli, "Modified Energy-aware AODV Routing for Ad Hoc Networks", Intelligent Systems GCIS '09 WRI Global Congress, pp. 338-342, 2009.

[12] T.V.P.SUNDARARAJAN, K. RAJESH KUMAR, R.K. KARTHIKEYAN, "A novel survey towards various energy models with Ad Hoc On Demand Distance Vector Routing Protocol (AODV)",

Communication and Energy Conservation INCACEC International Conference, pp. 1-5, 2009.

[13] 유대훈, 최웅철, 이승형, 정광수, "무선 모바일 애드 혹 네트워크에서 AODV 기반 에너지 효율 라우팅 프로토콜", 한국정보과학회 가을 학술발표논문집 Vol.33 No.2(D), pp. 561-565.

[14] 유비쿼터스기술연구센터, <http://www.utrc.re.kr/>

[15] 박재복, "센서네트워크 노드의 전력모델 개발," 한국컴퓨터종합학술대회 논문집, Vol. 33, No. 1(A), 2006.



김 창 훈 (Chang Hoon Kim)

正會員

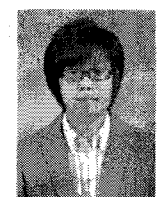
2001년 2월 대구대학교 컴퓨터정보공학부 (공학사)
 2003년 2월 대구대학교 컴퓨터정보공학과 (공학석사)
 2006년 8월 대구대학교 컴퓨터정보공학과 (공학박사)
 2011년 10월 현재 : 대구대학교 컴퓨터·IT공학부, 조교수

※주관심분야 : 암호시스템, Embedded System, RFID/USN 보안



김 일 휴 (Il-Hyu Kim)

2008년 2월 대구대학교 멀티미디어공학과 (공학사)
 2010년 2월 대구대학교 컴퓨터정보공학과 (공학석사)
 2010년 3월 ~ 현재 대구대학교 전산공학 박사과정
 ※주관심분야 : 6LoWPAN, 무선 센서네트워크



차 정 우 (Jeong Woo Cha)

2008년 2월 대구대학교 멀티미디어공학과 (공학사)
 2010년 2월 대구대학교 컴퓨터정보공학과 (공학석사)
 2010년 3월 ~ 현재 대구대학교 전산공학 박사과정
 ※주관심분야 : 무선 센서네트워크, 네트워크 리 프로그래밍



남 인 길 (In Gil Nam)

正會員

경북대학교 전자공학과 전산계산전공
 영남대학교 전자공학과 계산기전공 (공학석사)
 경북대학교 전자공학과 전산공학전공 (공학박사)
 2011년 10월 현재 : 대구대학교 컴퓨터·IT공학부 교수

※주관심분야 : 데이터베이스, 파일처리, 컴퓨터보안



이 채 옥 (Chae Wook Lee)

正會員

한국항공대학 통신공학과 (공학사)
 동경공업대학 전기전자공학과 (공학석사)
 동경공업대학 전기전자공학과 (공학박사)
 2011년 10월 현재 : 대구대학교 정보통신공학부 교수

※주관심분야 : 디지털 신호처리, 광통신