

ZigBee 네트워크에서 이동성을 지원하는 게이트웨이의 정보처리 메커니즘 설계

임형석, 홍충선

경희대학교 컴퓨터공학과

e-mail : hslim@networking.khu.ac.kr, cshong@khu.ac.kr

A Mobile Gateway Mechanism for Processing Information in ZigBee Network

Hyoung-Seok Lim, Choong-Seon Hong

Dept. of Computer Engineering, Kyung-Hee University

요 약

무선 센서 네트워크에서 특정 지역에 분포된 센서들은 데이터를 감지하고, 싱크 노드는 소스 노드들에게서 데이터를 수집한다. 현재, 여러 연구기관 및 기업에서 무선 센서 네트워크를 구현하고 실용화하기 위해 연구하는 중이며, 대표적인 예로 IEEE Standards 의 IEEE 802.15.4 와 이를 하위 계층으로 사용하는 ZigBee Alliance 의 ZigBee 가 있다. 본 논문에서는, ZigBee 기반의 네트워크에서 감지된 데이터들을 수집하기 위한 이동성을 지원하는 게이트웨이의 정보처리 메커니즘을 설계한다.

1. 서론

넓은 지역에서 특정한 현상의 변화에 대해 감지하고 대처하기 위하여 무선 센서 네트워크[1]의 개념이 도입되었고, 유비쿼터스 사업이 활발히 진행되는 시점에서 무선 센서 네트워크를 실질적으로 구현하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다.

현재 무선 센서 네트워크를 구현하기 위해 IEEE Standards 의 IEEE 802.15.4[2]가 Physical Layer 와 MAC Layer 를 정의하고 있으며, 이의 상위 계층으로 ZigBee Alliance 의 ZigBee[3]에서 Network Layer 와 Application Layer 및 그 밖의 부가적인 기능들을 정의하고 있다. 각 Specification 에서는 자세한 기술이 명시되어 있으며, 이를 구현하기 위해 요구되는 필수 사항들이 명시되어 있다. 그러나 네트워크에서 수집된 데이터를 확보하기 위한 게이트웨이의 구조 및 동작 메커니즘을 위한 내용은 정의되어 있지 않으며, 이동성에 대한 내용 또한 별도로 명시되어 있지 않다. 그러므로 이동성을 지원하는 게이트웨이의 동작 메커니즘을 정의하기 위해 기존의 specification 에서 정의된 내용을 부분적으로 수정할 필요가 있으며, 게이트웨이 내부에서 자체적으로 TCP/IP 와 같이 ZigBee 와 다른 성격

을 지닌 네트워크와의 통신을 가능하게 하는 Architecture 를 포함해야 한다.

본 논문에서는 이동성을 지원하는 게이트웨이가 ZigBee 기반의 네트워크에 진입하고, 노드들의 데이터를 수집하는 과정을 구체적으로 정의한다. 이동성 게이트웨이는 ZigBee 기반의 네트워크에 진입하여 자신이 선택한 라우터와 Association 을 하고, Gateway Agent 가 된 라우터를 통하여 데이터 요청 메시지를 전송한다. 이에 응하기 위해, 각 노드들은 기록해놓은 데이터들을 Gateway Agent 를 통해 Gateway 에게 전송한다. 이러한 동작들을 위해 사용해야 할 프레임 포맷 및 각각의 필드를 정의하고, 기존의 specification 에 명시된 포맷의 형식을 부분적으로 수정하여 재구성한다.

2. 관련연구

2.1 이동성을 지원하는 싱크 노드에 관한 연구

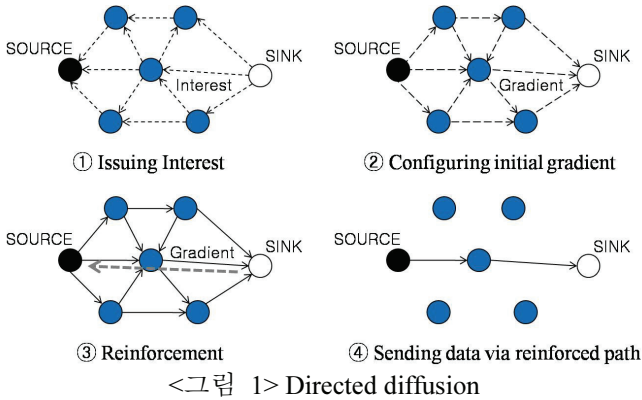
이동성을 지원하는 싱크 노드가 네트워크에서 데이터를 수집하는 동작을 정의하는 연구로서 Directed diffusion[4], LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[5] 등이 있다.

i. Directed diffusion

Directed diffusion 는 데이터 중심적인 평면 라우팅 기법으로, 싱크노드는 주변의 노드들에게 Interest 를

This work was supported by the Korea Research Foundation Grant funded by the Korean Government(MOEHRD)" (KRF-2006-521-D00394)

보내고, 그에 대한 응답을 통해서 경사(gradient)가 설정된다. 이렇게 설정된 다중 경로를 통해서 데이터 요청을 하고, 최적의 경로들을 강화(reinforcement)하여, 이 경로들로 데이터 전송이 이루어진다. 이는 싱크가 지속적으로 질의를 하는 네트워크에서 효율적이지만, 싱크가 잦은 이동을 할 경우에는 적합하지 않으며, 싱크가 네트워크 내에 처음 진입했을 때 수행하는 플로딩(flooding)으로 인하여 불필요한 메시지 중복 문제가 발생한다.



<그림 1> Directed diffusion

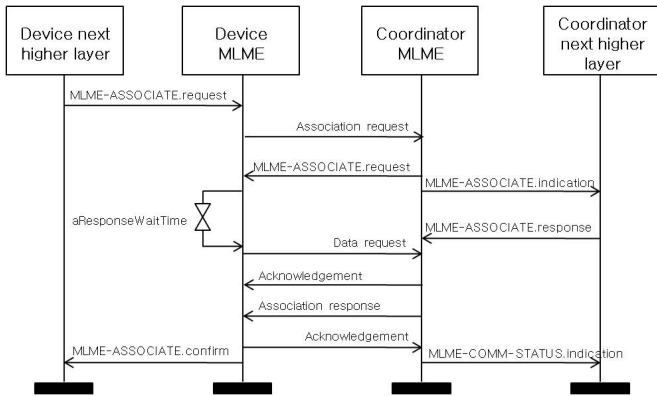
ii. LEACH

LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)는 계층적 클러스터링 기반의 라우팅 기법으로, 네트워크에 있는 모든 노드들에 에너지 소비를 공정하게 분산시키기 위해 가장 에너지의 소모량이 큰 클러스터 헤드의 역할을 무작위로 다른 노드에게 전담하며, 데이터를 각 클러스터에서 수집하여 최상의 계층에 존재하는 노드에게 데이터를 전송하고, 이 최상위 노드를 통하여 싱크가 데이터를 수집하게 된다. 이는 Directed diffusion에서의 데이터 중복 문제를 해결하지만, 데이터가 무조건 상위 노드나 하위 노드를 거쳐야 목적지로 전송이 된다는 단점이 있다.

2.2 IEEE 802.15.4

- association 과정

노드간의 association 을 하기 위해 네트워크에 참여하고자 하는 노드는 근처에 존재하는 라우터들을 탐색하고, 적절한 라우터를 선택하여 association 을 요청하게 된다. <그림 2>는 일반 노드와 Coordinator 간의 association 과정을 나타낸다.



<그림 2> Message sequence chart for association

- 일반적인 MAC 프레임 형식

IEEE 802.15.4 에서 사용하는 일반적인 MAC 프레임 형식은 <표 1>과 같다.

<표 1> General MAC frame format

Octet:2	1	0/2	0/2/8
Frame control	Sequence number	Destination PAN identifier	Destination address
		Addressing fields	
MHR			
0/2	0/2/8	Variable	2
Source PAN Identifier	Source address	Frame payload	FCS
Addressing fields			MAC payload

2.3 ZigBee 에서 사용하는 라우팅 기법

ZigBee 의 라우팅 기법은 계층형 라우팅 기법과 평면 라우팅 기법을 함께 사용한다. 기본적으로 계층형 토폴로지를 구성하며, ZigBee 라우터들 사이에서는 자신의 neighbor table 을 기반으로 평면형 라우팅을 수행할 수 있다. 평면형 라우팅 기법을 이용하여 최단 경로를 통해 데이터를 전송할 수 있고, 최단 경로를 찾지 못할 경우, 계층형 라우팅 기법을 이용하여 데이터를 전송하므로, 여러 상황에서도 유연하게 대처할 수 있다.

3. ZigBee 네트워크를 위한 Gateway 의 동작과정

Zigbee 기반의 네트워크에 이동성을 가진 Gateway 가 진입하였을 때, 네트워크의 특정 디바이스와 Association 을 하여 네트워크에 참여하고, 네트워크의 각 노드들이 모니터링한 데이터들을 수집하는 과정을 설명한다. 여기서 Gateway 는 네트워크 내에 진입한 뒤에 잦은 이동을 하지 않는다고 가정한다.

3.1 Gateway 와 ZigBee 노드의 Association 과정

Gateway 와 알맞은 Association 과정을 수행하기 위해 ZigBee 네트워크내의 모든 노드들은 자신의 에너지 소비량을 저장하고 있어야 하며, 이는 자신의 송신 횟수, 수신 횟수, 데이터 처리횟수 등을 기록하고, 이 값들을 계산함으로써 산출할 수 있다.

잔여 에너지량을 산출하기 위한 attribute 값들과 수식은 아래의 <표 2>와 같다.

<표 2> 추가된 MAC PIB attributes

Attribute	Identifier	Type	Range	Description	Default
macTxCnt	0x77	Integer	Variable	The number of transmission	0x00
macRxCnt	0x78	Integer	Variable	The number of receipt	0x00
macPcCnt	0x79	Integer	Variable	The number of processing	0x00

$E_{trx} = macTxCnt$ // 데이터 전송 횟수
 $E_{rcv} = macRxCnt$ // 데이터 수신 횟수
 $E_{prc} = macPcCnt$ // 패킷 처리 횟수
 $E_{csp} = 0.5E_{trx} + 0.4E_{rcv} + 0.1E_{prc}$ // 노드의 에너지 소비량
 <수식 1> 에너지 소비량을 계산하기 위한 수식

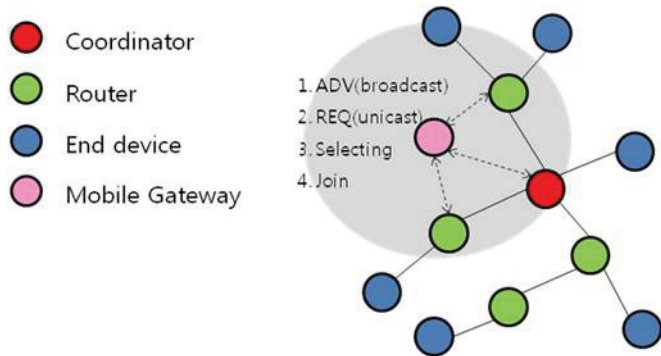
Gateway-Agent-Address	0x9C	Integer	0x0000 - 0xffff	The network address of Gateway-Agent	0x0000
-----------------------	------	---------	-----------------	--------------------------------------	--------

i. Join

ZigBee 네트워크에 진입한 Gateway 는 join 하기 위한 노드를 찾기 위해 ADV 메시지를 전송한다. ADV 메시지는 자신의 전파 범위 내에 존재하는 라우터 노드들에게 one-hop 으로 브로드캐스트되며, 이를 수신한 라우터들은 응답으로서 자신의 잔여 에너지량과 함께 Gateway 에게 join 하기 위한 REQ 메시지를 전송한다. 라우터들에게 REQ 메시지들을 수신한 Gateway 는 모든 잔여 에너지량을 비교하여 가장 큰 값을 선택한 뒤에 그 REQ 메시지를 전송했던 라우터에게 join 을 요청함으로써 Association 과정을 거치게 된다. <그림 3>은 Gateway 가 Agent 를 선택하는 과정을 나타낸다.

이로써 Gateway 와 join 한 라우터는 Gateway Agent 가 되고, 이를 알리기 위한 메시지를 네트워크 전역에 브로드캐스트 한다. 이 때, 메시지 중복 문제를 피하기 위해 라우터들 사이에서 최단 경로 전송 방식은 사용하지 않는다.

Gateway 의 동작을 위해 Network Layer 에서 <표 2>와같이 새로운 attribute 를 정의하였으며, Gateway Agent 가 된 라우터는 자신의 IsGatewayAgent attribute 를 TRUE 로 설정한다.



<그림 3> Gateway 가 ZigBee 노드와 join 하는 과정

모든 라우터들은 Agent 의 주소를 <표 3>과 같이 Network Layer 에서 새롭게 정의된 attribute 에 저장한다.

<표 3> 추가된 Network IB attributes

Attribute	Identifier	Type	Range	Description	Default
IsGateway-Agent	0x9B	Boolean	TRUE or FALSE	If TRUE, the node is connected with a Mobile Gateway. Otherwise, it's not.	FALSE

ii. Leave

Gateway 는 네트워크 내에서 자신의 역할을 완료하였을 경우, Agent 와 연결을 종료시키고, 네트워크에서 퇴장하게 된다. 이때 diassociation 과정은 ZigBee 와 802.15.4 의 명세서에 정의된 Leave 동작에 관련된 프리미티브를 이용하여 수행한다.

iii. Move

Gateway 가 Agent 와 데이터 수집 동작을 수행하던 도중에 Agent 를 교체하는 상황이 발생할 수 있는데 이때 새로 선택된 Agent 는 자신의 주소를 네트워크 내의 라우터들에게 브로드캐스트 함으로써, 네트워크 내의 다른 라우터들은 새로운 Agent 의 존재를 인식하게 된다.

3.2 Gateway 의 데이터 수집 과정

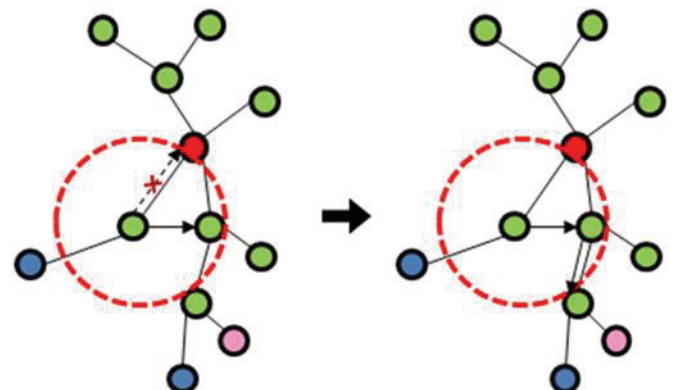
Association 과정을 통하여 ZigBee 네트워크에 연결된 Gateway 는 Agent 를 이용하여 데이터를 수집하게 된다.

i. Data Request

Gateway 는 네트워크 내에 존재하는 노드들의 데이터를 수집하기 위해 Agent 를 통하여 Request 메시지를 전송한다. Request 메시지는 네트워크 내의 모든 노드들에게 전송되어야 하며, 메시지의 중복을 피하기 위해 기존에 ZigBee 에서 사용하는 최단 경로 전송 방식은 사용하지 않는다.

ii. Data Response

Agent 로부터 Data Request Message 를 받은 노드들은 자신이 가지고 있는 데이터를 Agent 에게 전송을 하는데, 이때 효율적인 전송을 위하여 최단 경로 전송 방식을 사용한다. 최단 경로 전송 방식은 Data Response Message 를 받은 라우터가 자신의 Neighbor Table 에 메시지의 Destination Address field 와 일치하는 주소가 있을 경우에는 송신지 노드의 부모를 이용하지 않고, 곧바로 그 라우터에게 데이터를 전송한다. <그림 4>는 노드로부터 Data Response Message 가 Gateway Agent 에게 전송되는 과정을 보여준다.



<그림 4> Data Response Message 전송 과정

3.3 Gateway 의 동작을 위한 프레임 정의

i. Association 에 사용되는 프레임

Association 과정은 MAC Layer 에서 수행되며, 사용되는 프레임들은 IEEE 802.15.4 에서 사용하는 프레임들을 재구성하였다.

- ADV Message frame

<표 4> ADV Message frame format

Octets:2	1	4/10	2
Frame Control	Sequence number	Addressing fields	FCS
MHR			MFR

<표 4>는 ADV Message frame 의 포맷을 보여주고, Addressing field 의 Destination address 는 브로드캐스트 주소로 사용한다.

Frame control 필드는 <표 5>와 같이 구성된다.

<표 5> Format of the frame control field

Bits: 0-2	3	4	5	6
Frame type	Security enabled	Frame pending	Ack request	Intra-PAN
7-9	10-11	12-13	14-15	
Gateway frame	Dest Addressing mode	Reserved	Source Addressing mode	

<표 5>에서 7-9 bits 는 기존의 IEEE 802.15.4 에서 Rerverred 로 정의되어 있는 부분을 Gateway frame 필드로 재정의하였다. Gateway 와 관련된 네트워크 내의 모든 프레임들은 이 필드가 정의되어 있다.

<표 5>에서의 Frame type 의 포맷은 <표 6>과 같다.

<표 6> Values of the frame type subfield

Frame type value B ₂ b ₁ b ₀	Description
000	Beacon
001	Data
010	Acknowledgment
011	MAC command
100	Gateway Advertisement
101	Gateway Join Request

<표 6>과 같이 IEEE 802.15.4 에서 정의된 frame type subfield 에서 Gateway Advertisement 가 새로 추가되었다. 이는 현재 사용되는 프레임은 Gateway 가 Gateway Agent 를 선택하기 위해 자신의 존재를 자신의 전파 범위 내에 존재하는 라우터들에게 알리기 위한 프레임이란 것을 뜻한다.

- REQ Message frame

<표 7> REQ Message frame format

Octets:2	1	4/10	1	2
Frame Control	Sequence number	Addressing fields	Energy Consumption	FCS
MHR			MAC payload	MFR

<표 7>과 같이, REQ 프레임은 ADV 프레임과는 달리 MAC payload 로서 Energy Consumption 필드가 추가되었으며, Gateway 에게 ADV 메시지를 받은 라우터들은 자신의 에너지 소비량을 Energy Consumption 필드

에 저장하여 REQ 메시지를 Gateway 에게 전송한다. REQ 프레임의 Frame type 필드는 <표 5>와 같으며, Frame type 서브필드에 <표 6>과 같이 REQ 메시지를 위한 Gateway Join Request 값이 추가되었다.

ii. 데이터 수집을 위한 프레임

Agent 에서 데이터 수집을 위해 Data-Request Message frame 와 Data-Response Message frame 를 사용하게 되는데, 이는 Gateway 의 동작을 위한 프레임이므로, 프레임의 Frame control 필드는 <표 6>과 같이 사용된다. 데이터를 요청하거나 전송하는 동작은 기존의 ZigBee 와 IEEE 802.15.4 명세서에 이미 정의가 되어 있으며 이를 이용하여 데이터 수집 동작을 수행할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 ZigBee 기반의 네트워크 내에 존재하는 노드들이 감지하고 기록해 놓은 데이터들을 수집하기 위한 이동성 게이트웨이의 동작 과정을 설명하였다. 기존의 센서 네트워크를 위한 이동성 싱크 노드를 묘사하는 논문들과는 달리, 센서 네트워크의 플랫폼을 ZigBee 환경에서 구체적으로 명시하고, 싱크노드는 ZigBee 외부의 다른 성격을 지닌 네트워크와 통신이 가능하다는 전제하에서 게이트웨이라는 명칭을 이용하였다. 앞으로의 센서 네트워크의 구현 및 실용화를 위해, 이론적인 기술의 제안에서 그치지 않는, 실질적이고 구체적인 내용을 기반으로 한 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci Georgia Institute of Technology, "A Survey on Sensor Networks", IEEE Communicatoins Magazine, August, 2002
 [2] IEEE Computer Society, "IEEE Standards 802.15.4 : Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)", October 1, 2003
 [3] ZigBee Alliance, "ZigBee Specification v11", May 24, 2006.
 [4] C. Intanagonwiwat, R. Govindan and D. Estrin, "Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks", Proceedings of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'00), August 2000.
 [5] Wendi B. Heinzelman et al., "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks", IEEE Trans. on Wireless Communications, Oct. 2002.