

논문 2010-47CI-6-13

센서 네트워크의 이동 노드를 위한 효율적 네트워크 구성 방법

(Efficient Network Configuration Method for Mobile Nodes in Sensor Networks)

이 재 형*, 이 응 수*, 김 동 성**

(Jae-Hyung Lee, Eung-Soo Lee, and Dong-Sung Kim)

요 약

본 논문에서는 근거리 저속 무선 기술인 IEEE 802.15.4 표준을 이용한 무선 센서 네트워크 환경에서 노드의 이동성을 고려한 효율적 네트워크 구성 방법을 제안하였다. 제안된 MSBS 방법은 BOP 구간을 이용하여 이동 노드의 네트워크 가입 시 보다 향상된 처리 속도로 가입절차를 수행하며, 이웃 노드들의 Depth, RSSI, 트래픽량을 고려하여 효율적으로 네트워크 구성을 한다. MSBS 방법은 트래픽이 집중되어 있는 노드를 통한 네트워크 가입을 방지하고, RSSI가 높은 노드를 통하여 네트워크 가입 절차를 수행하므로 통신 품질을 향상시킨다. 제안된 방법의 효용성을 증명하기 위하여 MSBS 방법을 적용한 IEEE 802.15.4 시뮬레이션 모델을 구현하여 이동 노드의 경로에 따라서 효율적으로 네트워크 구성함을 보였다.

Abstract

In this paper, an efficient network configuration method is proposed for mobile nodes in LR-WPAN (Low Rate Wireless Personal Area Network) based on the IEEE 802.15.4 standard. The proposed MSBS (mobile sensor beacon setup) method can be used to implement a joining procedure by which an improved processing rate can be achieved. This improvement is achieved by using BOP (Beacon only Period). In this method, the performance of mobile nodes is enhanced by using information on depth, traffic, and RSSI (Received Signal Strength Indication). By using the MSBS method, trusted data can be transferred and traffic overloads that occur at specific nodes can be prevented. The information obtained from the mobile nodes in wireless networks is analyzed using the proposed method, in order to study the performance of the method. Simulation results show that the MSBS method can be used to obtain an efficient network configuration according to the mobility of nodes in LR-WPAN.

Keywords : 무선 센서 네트워크, 실시간 네트워크 가입, 효율적 네트워크 구성, IEEE 802.15.4 슈퍼프레임

I. 서 론

센서 네트워크는 생태계 감시 연구에 이용될 수 있으며, 지구 환경에서의 응용뿐만 아니라 다른 행성의 환경을 측정하는 방법으로도 사용될 수 있다^[1~2]. 인간이 접근하기 어려운 환경에 대한 관측의 예로서, 산불의 관측, 홍수, 생태계의 복잡성에 관한 연구, 공해, 지리학

적 응용 등의 다양한 분야에 적용이 가능하다^[3~5].

이러한 센서 네트워크는 군사 목적 및 산업용 환경에서 노드의 에너지 효율성 및 유연성 등으로 인해 최근 들어 다양한 연구들이 시도 되고 있다^[6~8]. 하지만 센서 네트워크는 기본적으로 고정된 위치에서 정보를 수집하는 노드를 바탕으로 연구되었고, 노드의 이동성을 지원하기 위한 연구들은 많이 진행되지 않았다^[9~10].

무선 센서 네트워크를 형성하기 위해서 고려되고 있는 상용 무선 통신 기술로는 IEEE 802.11 표준의 무선 랜 기술, IEEE 802.15.1 표준의 블루투스 기술, 저속 근거리 무선 통신 표준인 IEEE 802.15.4 기술 등이 있다.

근래에 IEEE 802.11 기반의 무선 통신 기술은 산업

* 학생회원, ** 정회원, 금오공과대학교 전자공학부
(School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

※ 본 논문은 경상북도, 중소기업청에서 지원하는 금오공과대학교 2010년도 산학협력실 지원사업으로 수행된 결과임

접수일자:2010년6월16일, 수정완료일:2010년10월25일

용 환경 및 홈 네트워크 분야에서 활발하게 연구가 진행되고 있다^[11]. 하지만 고가의 단위 노드 가격으로 인해 설치비용이 많이 들고, 전력 소모가 크다는 단점들이 있으므로 이동 노드들이 밀집되어 있는 센서 네트워크 환경에서는 적용하기가 어려운 실정이다.

IEEE 802.15.1 표준의 블루투스 기술을 이용한 무선 센서 네트워크는 노드의 가격이 저렴하고 전송속도도 비교적 빠르지만, 지원 가능한 노드의 수가 극히 제한적이고 전송거리가 짧아서 넓은 산업 환경에서 사용하는 것은 어렵다^[12].

본 논문에서는 산업용 환경에서 무선 센서와 제어 장치의 요구사항을 만족하면서 저비용, 저 전력을 목적으로 하는 저속 근거리 무선 통신 기술인 IEEE 802.15.4를 기반으로 센서의 이동성을 고려한다^[13].

IEEE 802.15.4 기반의 센서 네트워크 환경에서는 신규 노드의 네트워크 가입을 위해 단위 홈 기반으로 인접 테이블을 작성한다. 가입 절차를 수행할 인접 노드의 선택은 인접 테이블에서 RSSI (Received Signal Strength Indicator)가 기준 이상이 되는 노드들 중 조종자 노드와의 홈 정보가 가장 낮은 노드를 통해서 네트워크 가입 절차를 수행한다. 이러한 네트워크 구성 방법은 노드의 이동성에 따라 빈번히 네트워크에 가입과 탈퇴를 반복하는 노드에 대해서는 인접 테이블을 작성하기 위한 높은 처리시간을 요구한다. 그리고 이웃 노드들의 네트워크 구성 정보가 부족한 비콘 (Beacon)에 의해 비효율적인 네트워크 구성을 하는 경우도 발생 된다.

본 논문에서는 센서 네트워크의 전체시스템의 성능을 유지하면서 노드의 이동성을 지원하기 위한 방법을 제안하고자 한다. 이를 위하여 효율적으로 네트워크 구성을 위해서 BOP 기반의 Depth, 트래픽, 그리고 RSSI를 고려한 알고리즘을 설계한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 II장에서는 노드의 이동성에 따른 빈번한 네트워크 가입과 탈퇴 시 발생하는 문제점들을 해결하기 위해서 BOP 구간을 활용한 네트워크 가입 방법을 제안한다. 이를 이용해 III장에서는 효율적인 네트워크 구성을 위하여 MSBS 방법을 제안한다. IV장에서는 제안된 방법의 효율성을 증명하기 위해서 모의실험을 통하여 성능을 평가하고, 마지막 V장에서는 결론 및 향후연구에 대해 논의한다.

II. 효율적 네트워크 구성 방법

본 논문에서는 노드의 이동성에 따른 문제점을 해결하고, 효율적인 네트워크 구성을 위해 MSBS (Mobile Sensor Beacon Setup) 방법을 제안한다.

MSBS 방법은 BOP (Beacon only Period) 구간을 활용하여^[14] 하나의 슈퍼프레임으로 인접 노드들의 네트워크 정보를 받을 수 있다. 이는 기존의 인접 테이블을 작성하기 위해서 발생하는 처리 시간을 단축한다. 그리고 이동 노드를 위한 비콘인 MSB (Mobile Sensor Beacon)를 정의하여 이동 노드가 네트워크 가입을 요구할 시 3가지 정보를 이용하여 효율적인 네트워크 가입 절차를 수행한다.

- 최단 거리 라우팅을 위해 조종자 노드와 라우터간의 홈 수준 Depth를 포함한다.
- 트래픽이 집중되어 있는 노드를 통하여 네트워크 가입 절차를 수행하는 것을 방지하기 위해서 트래픽량을 포함한다.
- 데이터의 신뢰성을 보장하기 위해서 RSSI를 포함한다.

1. BOP 구간을 활용한 네트워크 가입 방법

가. 신규 노드의 네트워크 가입 절차

신규 노드가 네트워크 가입을 요청할 때 가입 과정은 다음과 같다.

- ① 가입 절차를 수행하게 될 인접 노드를 찾기 위하여 “Scan Req” 메시지를 브로드캐스팅 한다.
- ② “Scan Req” 메시지를 수신한 인접 노드들은 자신이 자식을 가질 수 있는지 판별하여, 노드 할당이 가능하면 “Scan Resp” 메시지로 응답하는데 이때 자신의 Depth 정보를 포함하여 보낸다.
- ③ 신규 노드는 응답 메시지들의 RSSI가 기준 이상이 되는 노드들 중 Depth 정보가 가장 낮은 노드를 선택하여 해당 노드에 네트워크 가입을 위한 “Join Req”를 보낸다.
- ④ “Join Req”를 받은 상위노드는 해당되는 주소를 할당하여 하위 노드에게 “Join Resp”를 보내어 등록이 성공적으로 되었음을 알려준다.
- ⑤ 상위 노드는 신규 노드가 Join이 되면 조종자노드로 하위 노드의 정보와 라우팅 정보를 포함하여 전달한다.

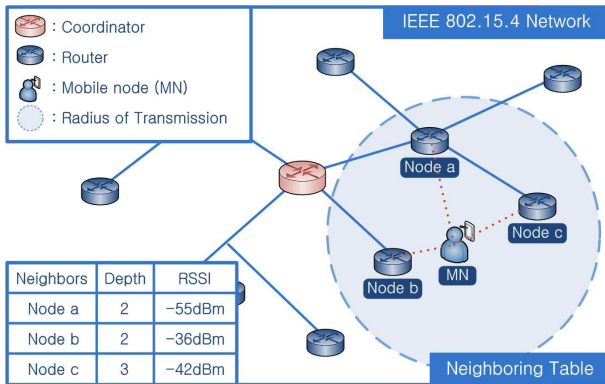


그림 1. 네트워크 형성 과정
Fig. 1. Process of network formation.

그림 1은 IEEE 802.15.4 기반 트리형 네트워크 환경에서의 신규 노드의 네트워크 형성 과정을 나타낸다.

신규 노드가 네트워크 가입을 요구하면 RF 영역에 있는 모든 노드들과 통신을 수행하며 네트워크 구성 정보를 수신 받는다. 수신된 정보를 바탕으로 신규 노드는 인접 테이블을 작성한다. 이러한 네트워크 환경에서는 인접 노드 a와 b가 가장 작은 Depth로 형성되어 있으며, 두 노드 중 RSSI가 더 큰 노드 b를 통하여 신규 노드는 네트워크 가입 절차를 수행하게 된다.

나. 네트워크 가입 절차에 따른 처리 시간 분석

각 노드간의 메시지 전송 시간을 분석하기 위해서 표 1과 같은 변수들을 정의한다^[15].

표 1. 메시지 지연시간 분석을 위한 변수 정의
Table 1. Definition of message delay time for analysis.

| 변수 | 정의 |
|--------------------|---------------------|
| T_{delay} | 메시지의 총 지연시간 |
| τ_{dest} | 목적지 노드의 송신 시간 |
| τ_{src} | 공급 노드의 수신 시간 |
| T_{pre} | 공급 노드에서의 전처리 시간 |
| T_{wait} | 공급 노드에서 대기 시간 |
| T_{tx} | 프레임 전송 시간과 전달 지연 시간 |
| T_{post} | 목적지 노드에서의 후처리 시간 |
| T_{scomp}^{pre} | 공급 노드에서 계산 시간 |
| T_{scode}^{pre} | 공급 노드에서 부호화 시간 |
| T_{queue}^{wait} | 공급 노드에서 큐잉 시간 |
| T_{block}^{wait} | 공급 노드에서 차단 시간 |
| T_{frame}^{tx} | 네트워크상에서 프레임 전송 시간 |
| T_{prop}^{tx} | 네트워크상에서 전파 전송 시간 |
| T_{dcode}^{post} | 목적지 노드에서 복호화 시간 |
| T_{dcomp}^{post} | 목적지 노드에서 계산 시간 |

메시지의 총 지연시간은 공급 노드의 차단 시간 (Blocking Time)과 프레임 전송 시간만 고려한다. 나머지 변수들은 두 변수 (T_{block}^{wait} , T_{frame}^{tx})에 비해 무시할 수 있는 범위에 속하므로, 식 1과 같이 간소화 될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 T_{delay} &= \tau_{dest} - \tau_{src} \\
 &= T_{pre} + T_{wait} + T_{tx} + T_{post} \\
 &= T_{scomp}^{pre} + T_{scode}^{pre} + T_{queue}^{wait} + T_{block}^{wait} + T_{frame}^{tx} + T_{prop}^{tx} + T_{dcode}^{post} + T_{dcomp}^{post} \\
 &\approx T_{block}^{wait} + T_{frame}^{tx}
 \end{aligned} \quad (1)$$

그림 2는 신규 노드의 네트워크 가입 절차를 나타낸 것이다.

가입하고자 하는 노드의 주변에 한 개의 인접 노드가 존재할 때 가입 절차에 의한 처리 시간은 식 2와 같다.

$$T_{process} = T_{td}^{s_req} + T_{pd}^d + T_{td}^{s_resp} + T_{pd}^{nt} + T_{td}^{j_req} + T_{pd}^{ct} + T_{td}^{j_resp} \quad (2)$$

$T_{td}^{s_resp}$ 와 T_{pd}^{nt} 는 인접 노드들이 증가 할수록 지연이 길어지게 된다. $T_{td}^{s_resp}$ 는 차단 시간인 T_{block}^{wait} 의 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple access with collision avoidance) 메카니즘에 의해서 지연이 발생된다. IEEE 802.15.4의 매체 접근 기법인 CSMA/CA 메카니즘에서는 현재 채널의 상태 (Idle or Busy)를 결정하는 기능인 CCA (Clear Channel Assessment)를 포함한다. T_{block}^{wait} 은 CCA까지의 과정으로 식 3과 같이 표현된다^[16].

$$\begin{aligned}
 D_R &= random(2^{BE} - 1) \\
 B_D &= D_R \times aUnitBackoffPeriod \\
 &= D_R \times 20 \text{ symbols}
 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
 T_{block}^{wait} &= (B_D + CCA_{duration}) \times symbol_{duration} \\
 &= (B_D + 8 \text{ symbols}) \times 16\mu s
 \end{aligned}$$

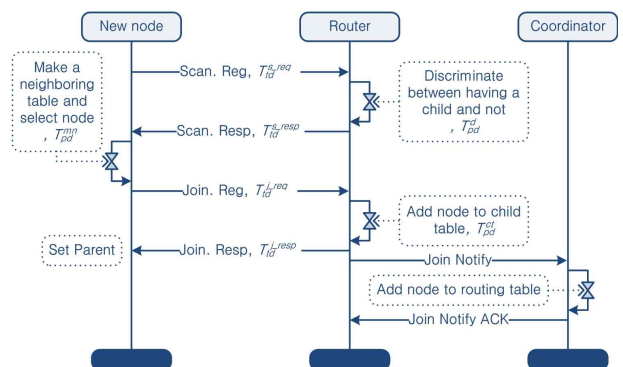


그림 2. 신규 노드의 네트워크 가입 절차
Fig. 2. Network joining procedure of new node.

D_R 은 채널이 유효한 상태에서 CCA 동작 전에 이루어지는 랜덤 백 오프 주기로 BE (Back-off Exponent)에 의해서 결정된다. B_D (Backoff Duration)는 백오프 존속 기간이며, 단위 백오프 구간에 기초하여 수행된다.

T_{pd}^{mt} 는 노드 수의 증가에 따른 인접 테이블을 작성하고, 가입 대상 노드를 선택하기 위한 산술적 처리에 의한 지연이다.

따라서 인접 노드 수의 증가에 따른 가입 절차 처리 시간은 식 4와 같이 정의된다. 공급 노드의 자식 노드 허용 판별 과정 (T_{pd}^d)과 주소 할당 과정 (T_{pd}^a)은 상대적으로 적은 지연 시간을 가지므로 무시한다.

$$T_{process}(n) = T_{id}^{s-req} + \sum_{n=1}^k \{ T_{id}^{s-resp}(n) + T_{pd}^{mt}(n) \} + T_{id}^{j-req} + T_{id}^{j-resp} \quad (4)$$

이러한 네트워크 가입 절차는 인접 노드의 수가 증가할수록 가입 절차를 위한 지연시간이 높아지게 된다. 노드의 이동에 따라서 네트워크에 빈번한 가입과 탈퇴를 반복하는 노드의 경우에는 보다 가입 처리속도가 향상된 방법이 요구된다.

다. BOP 구간을 이용한 슈퍼프레임 구조

본 논문에서는 비콘 충돌 회피 기법인 BOP를 활용하여 이동 노드를 위한 슈퍼프레임 구조를 그림 3과 같이 제한한다. 식 5는 BOPL (Beacon Only Period Length), SD (Slot Duration), BI (Beacon Interval)를 계산하는 식이다. 2.4Ghz 주파수 대역에서 250kbps 데이터 전송률을 고려하면 한 프레임에 15.36ms의 시간이 소요되고, 하나의 시구간은 0.96ms가 된다.

$$BOPL = aBSD \times mBOPL = 60 \times mBOPL \text{ symbols}$$

$$SD = aBSFD \times 2^{SO} = aNSFS \times aBSD \times 2^{SO} = 16 \times 60 \times 2^{SO} \text{ symbols}$$

$$BI = aBSFD \times 2^{BO} = aNSFS \times aBSD \times 2^{BO} = 16 \times 60 \times 2^{BO} \text{ symbols}$$

$$0 \leq BO \leq 14, 0 \leq SO \leq 14$$

$$\left(\begin{array}{l} BSD = \text{Base Slot Duration} = 60 \text{ symbols} \\ BSFD = \text{Base Super Frame Duration} = 960 \text{ symbols} \\ NSFS = \text{Num Super Frame Slot} = 16 \text{ slots} \end{array} \right) \quad (5)$$

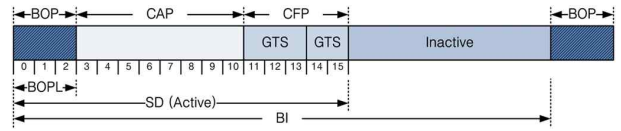


그림 3. BOP를 이용한 슈퍼프레임 구조
Fig. 3. Superframe structure by using BOP.

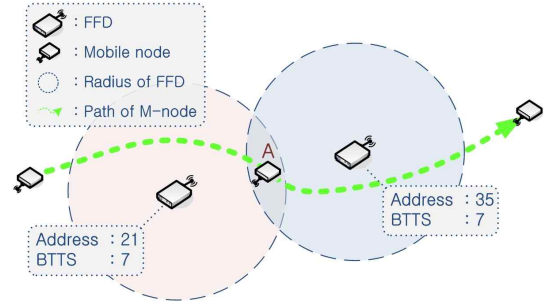


그림 4. BTTS 할당 시 문제점
Fig. 4. Problem when FFDs assign BTTS.

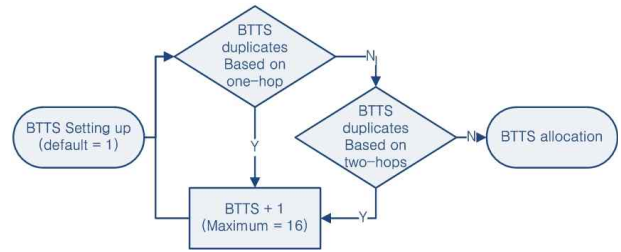


그림 5. BTTS 할당 기법
Fig. 5. BTTS allocation method.

BOP 구간은 TDMA (Time Division Multiple Access) 방식을 사용하며 네트워크에 존재하는 모든 FFD (Full Function Device)들에게 BTTS (Beacon Tx Time Slot) 정보를 할당하여 정해진 BOP의 시구간을 이용하도록 한다. BTTS 할당 시에는 그림 4와 같은 경우를 고려해야 한다.

이동 노드가 FFD들의 RF 중첩 범위인 A지점에서 네트워크 가입 요청을 하게 되면 인접 FFD들의 BTTS가 동일하므로 BOP 구간에서 충돌이 발생하게 된다. 이를 방지하기 위해서 BTTS 할당 시 2-홉 기반으로 중복 유무를 판별하면서 할당되어야 한다. 그림 5는 제안된 BTTS 할당 기법의 순서도를 나타내며, BTTS 할당 시기는 네트워크 주소할당 후에 이루어진다.

라. BOP 구간을 이용한 네트워크 가입 절차

이동 노드가 네트워크 가입을 요구하게 되면 BOP 구간을 16개의 시구간으로 나눈다. 인접 노드들은 할당된 BTTS의 정보를 바탕으로 이동 노드의 BOP구간에

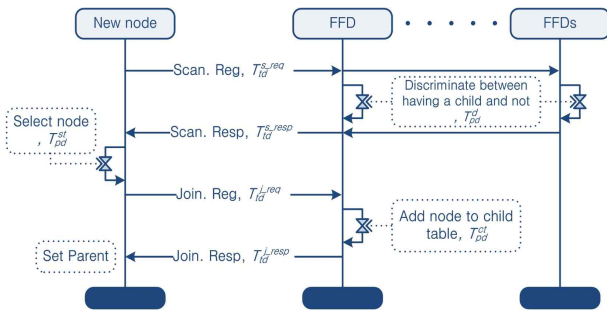


그림 6. BOP를 이용한 이동 노드의 네트워크 가입 절차

Fig. 6. Network joining procedure of mobile node by using BOP.

자신의 정보를 전송한다. 그림 6은 BOP를 활용한 이동 노드의 네트워크 가입 절차를 나타낸다.

BOP를 이용한 네트워크 가입 방법은 최대 16개의 인접 노드에 대해서 지원하며, 식 6에 의해서 가입 절차의 처리 시간을 계산한다.

$$\begin{aligned}
 T_{process}(n) &= T_{td}^{s_req} + T_{pd}^d + \sum_{n=1}^{16} \{ T_{td}^{s_resp}(n) + T_{pd}^{sn}(n) \} + \\
 &\quad T_{td}^{j_req} + T_{pd}^{cd} + T_{td}^{j_resp} \\
 &\approx T_{td}^{s_req} + \sum_{n=1}^{16} \{ T_{td}^{s_resp}(n) + T_{pd}^{sn}(n) \} + T_{td}^{j_req} \\
 &\quad + T_{td}^{j_resp}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

BOP에서는 TDMA 방식을 사용하므로 $T_{td}^{s_resp}$ 의 차단 시간에 의한 지연 시간은 고려되지 않는다. 그러므로 인접 노드수가 증가하더라도 일정한 범위에서 가입 절차 시간을 유지시킨다. 그리고 한 프레임에 인접 데이터를 얻을 수 있으므로 기존의 인접 테이블을 작성하는 절차를 완화할 수 있다.

2. 이동 센서 노드의 MSBS 방법

기존의 네트워크 가입방법은 비콘의 부족한 네트워크 구성정보에 의해서 비효율적으로 가입할 확률이 있다. 그림 7은 이러한 문제점을 보여준다.

이동 노드 A에서 기존의 네트워크 가입 방법을 적용하면 a노드와 b노드 모두 동일 Depth이지만 b노드가 RSSI가 더 높으므로 b노드를 통하여 가입 절차를 수행한다. 하지만 b노드의 경우 트래픽 과부하 상태이므로 a노드를 통해서 가입하는 것보다 비효율적이다. 또한 이동 노드 B의 경우도 마찬가지로 트래픽량이 많은 c노드를 통하여 네트워크 가입 절차를 수행한다. 비록

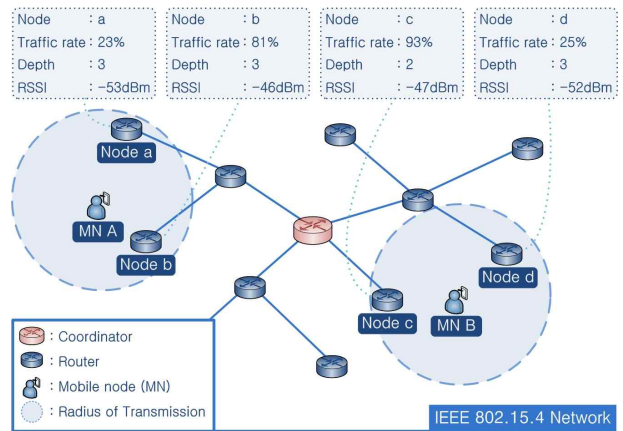


그림 7. 신규 노드의 가입 문제점

Fig. 7. Joining problem of new node.

Depth는 높지만 d노드를 통하여 가입하는 것이 더 효율적일 수 있다. 이러한 결과로 이동 노드의 수가 증가하고, 트래픽을 고려하지 않고 네트워크 가입을 하게 되면 시스템의 성능을 저하시킬 수 있는 요인이 될 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 MSBS 방법을 제안한다. MSBS 방법은 Depth, RSSI, 트래픽을 고려하여 이동 노드들이 보다 유연성 있고, 효율적으로 네트워크 가입을 할 수 있도록 한다.

가. MSB 프레임

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 표준의 비콘 신호와 충돌을 회피하기 위해서 MSB를 사용한다. MSB는 비콘 프레임의 페이로드 필드를 활용하여 그림 8의 프레임 구조로 구성된다. 페이로드 필드에는 Depth와 트래픽 정보를 포함한다.

프레임 제어 필드의 형태 필드에는 예약 영역을 활용하여 표 2와 같이 정의한다. 송신 주소지정 모드 (Source addressing mode) 부 필드는 MSB 프레임을 전송하는 노드의 주소로 설정한다. 그리고 순차 번호 (Sequence number) 필드에는 현재 macBSN 값이 포함 된

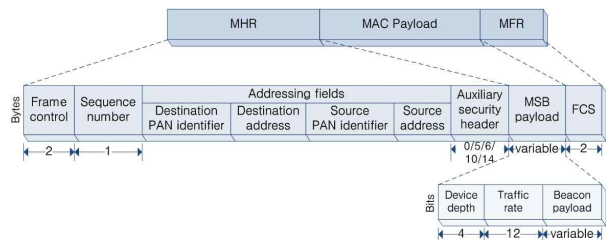


그림 8. MSB 프레임의 구조

Fig. 8. Structure of MSB frame.

표 2. 프레임 형태 필드
Table 2. Frame type field.

| 프레임 형태 값 $b_2b_1b_0$ | 용도 |
|----------------------|----------------------|
| 000 | Beacon |
| 001 | Data |
| 010 | Acknowledgment |
| 011 | MAC command |
| 100 | Mobile sensor beacon |
| 101-111 | Reserved |

표 3. MAC 부계층의 MSB 페이로드 필드의 정보
Table 3. Information of MSB payload field of MAC layer.

| 이름 | 타입 | 유효 범위 |
|----------------|---------|------------------|
| Device depth | Integer | 0x00~nwkMaxDepth |
| Traffic volume | Integer | 0x000~0xffff |

다. 공급 PAN 식별자 (Source PAN identifier) 필드와 송신 주소 (Source address) 필드에는 비콘을 전송하는 디바이스의 PAN 식별자의 주소가 각각 포함된다.

MSB 페이로드 필드의 정보는 표 3과 같으며, 디바이스 Depth는 이동 노드와 조종자 노드 사이의 홉 정보가 저장된다. 트래픽 처리량 필드는 일정 주기 동안에 노드의 데이터 처리 카운터이며, FFD들만 정보를 수집한다. 최대 2^{12} 인 4095개를 카운터 할 수 있으며, 트래픽 처리량 부 필드에서는 현재 카운터 값이 아닌 이전 카운터 값을 저장 한다. 저장 주기는 식 7의 계산 값에 의해 63 [sec]로 설정 한다.

$$T_{t_max} = T_{BI} \times T_{c_max} = 15.36\ ms \times 4095 \cong 63\ s \quad (7)$$

나. 이동 노드의 MSBS 결정 방법

이동 노드가 네트워크에 가입을 요청할 때 단위 홉

표 4. MAC 명령 프레임의 ID와 이름
Table 4. ID of MAC instruction frame and the name.

| 명령 프레임의 ID | 명령 프레임의 이름 |
|------------|------------------------------|
| 0x01 | Association request |
| 0x02 | Association response |
| 0x03 | Disassociation notification |
| 0x04 | Data request |
| 0x05 | PAN ID conflict notification |
| 0x06 | Orphan notification |
| 0x07 | Beacon request |
| 0x08 | Coordinator realignment |
| 0x09 | GTS request |
| 0x0a | MSB request |
| 0x0b~0xff | Reserved |

기반으로 인접 노드들에게 MSB 요청을 브로드캐스트 한다. 표 4는 MAC 부계층에서 정의한 명령 프레임이며, 본 논문에서 사용하는 MSB 요청 ID를 보여준다.

MSB 요청을 받은 각 FFD들은 충돌 방지를 위하여 할당 된 BTTS 정보를 이용하여 이동 노드의 BOP 구간에 MSB를 전송한다. BOP 구간에 전송된 MSB들은 MSBS방법에 의해 $MSBS_{value}$ 가 가장 큰 FFD를 선택하여 네트워크 가입 절차를 수행한다. $MSBS_{value}$ 는 Depth, RSSI, 트래픽량을 이용하여 식 8에 의해서 계산 된다.

$$MSBS_{value} = \frac{MSBS_{traffic}}{Depth} \times MSBS_{rssi} \quad (8)$$

$MSBS_{RSSI} (M_r)$ 는 이동 노드가 데이터의 신뢰성이 보장된 노드를 통하여 가입할 확률을 향상시킨다. $MSBS_{traffic} (M_t)$ 는 트래픽 과부하가 발생된 노드를 통하여 가입하는 것을 방지 한다.

식 9는 $MSBS_{value}$ 를 결정하기 위한 M_r 을 계산하는 식이다.

$$M_r(D_r) = \begin{cases} 1 & , D_r < 15_r \\ \exp\left(\frac{15_r + D_r}{3}\right) & , D_r > 15_r \end{cases} \quad (9)$$

D_r 은 두 노드의 거리에 따른 RSSI의 크기이며, 15_r 은 15m 지점에서의 RSSI 크기이다. 그림 9는 M_r 의 값을 그래프로 나타낸 것으로 15m 이내의 지점은 안전지대로 설정하고, 이후부터는 식 9에 의해 BOP구간에서 다른 인접 노드와의 경쟁력을 절감 시킨다.

M_t 는 트래픽량 (*Traffic volume*, T_v)에 따라서 BOP 구간에서의 경쟁력을 절감시키는 지점인 문턱점을 결정해야 한다. 식 10은 T_v 에 의한 네트워크 가입 확률을

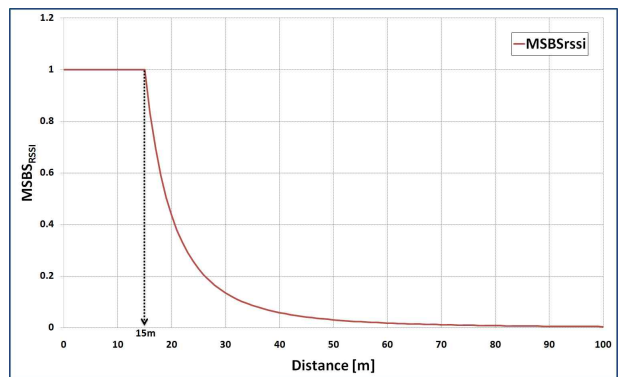


그림 9. RSSI에 따른 M_r
Fig. 9. M_r according to RSSI.

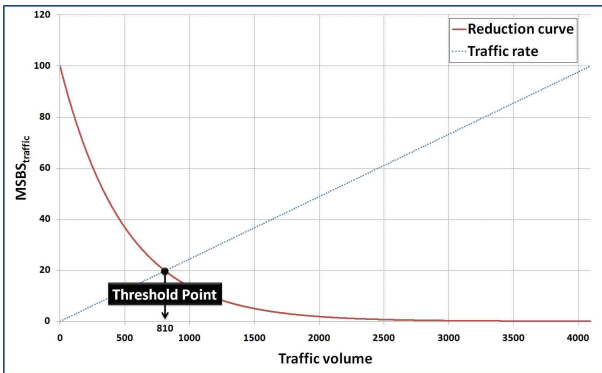


그림 10. T_v 에 따른 M_t 의 문턱점
Fig. 10. Threshold of M_t according to T_v

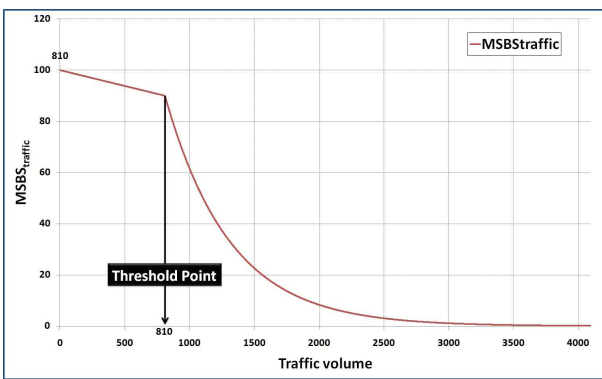


그림 11. T_v 에 따른 M_t
Fig. 11. M_t according to T_v

낮추기 위한 식이다.

$$R_c(T_v) = 100 \times \exp\left(-\frac{T_v \times 10^{-3}}{0.5}\right) \quad (10)$$

문턱점은 그림 10과 같이 R_c 와 T_v 비례비의 관계에 의해 결정된다. 이 문턱점(= 810)을 기준으로 M_t 가 결정된다.

식 11은 M_t 를 계산하는 식이며, 문턱점을 이용하여 함수를 정의한다.

$$M_t(T_v) = \begin{cases} 100 - \frac{T_v}{810 \times 10^{-1}}, & T_v < 810 \\ 90 \times \exp\left(-\frac{(T_v + 810)}{0.5 \times 10^3}\right), & T_v > 810 \end{cases} \quad (11)$$

그림 11은 결과 그래프를 나타낸다. 문턱점을 기준으로 이하일 때는 비례감소를 하게 되고, 이상일 때는 식 10에 의해서 비선형으로 감소한다.

III. 실험

본 논문에서 제안하는 이동 노드를 위한 네트워크 가입 방법은 슈퍼프레임에 BOP 구간을 할당하여, MSB를 수신 후 MSBS 방법에 의해 가입 노드를 결정한다. 모의실험은 BOP 구간을 이용한 네트워크 가입 방법의 효율성을 분석하기 위해서 기존의 방법과 처리 시간을 비교한다. 그리고 이동 노드의 네트워크 가입 시 결정되는 Depth, RSSI, 트래픽을 분석하여, 기존의 방법과 MSBS 방법을 성능 분석한다.

1. 네트워크 가입 방법 모의실험

가. 모의실험 환경

BOP는 16개의 시구간으로 정의하였으므로, 인접노드의 수를 1에서 16으로 증가시켜 가면서 표 5의 네트워크 환경 설정 값을 바탕으로 BOP 방법을 성능 분석한다. 기존의 충돌회피기법은 CSMA/CA를 사용하였으며, 인접노드들의 트래픽은 신규 노드의 네트워크 가입 시 발생하는 트래픽량만 고려한다.

표 5. BOP 모의실험 구성 정보
Table 5. Configuration information for BOP simulation.

| CSMA/CA | | | |
|-------------------------|------------|-----------|----------|
| macMinBE | 3 | macMinBE | 5 |
| CCA _{duration} | 8 symbols | CW | 2 |
| aUnitBackoffPeriod | 20 symbols | | |
| Joining duration | | | |
| Scan_Req | 8 bytes | Scan_Resp | 48 bytes |
| Join_Req | 29 bytes | Join_Resp | 31 bytes |
| MSB_frame | 17 bytes | MCU | 16 MIPS |

나. 모의실험 결과

기존의 방법과 BOP 방법의 가장 큰 관점은 충돌회피 기법이다. 기존의 방법은 CSMA/CA를 사용하여 인접 노드들의 수가 증가할수록 충돌에 의한 백오프 지연 시간이 증가하게 된다. 하지만 BOP 방법은 TDMA를 사용하여 정해진 시구간을 이용하므로 충돌에 의한 지연이 발생되지 않는다. 그림 12는 신규 노드가 네트워크 가입 시 인접노드의 증가에 따른 가입과정에 대한 처리시간을 모의실험한 결과이다. BOP 방법이 기존의 방법에 비해 처리속도가 보다 향상된 것을 알 수 있다. 모의실험 결과는 인접노드의 네트워크 가입 시 발생하는 트래픽만 고려하였다. 실제 환경에서는 다른 요인에

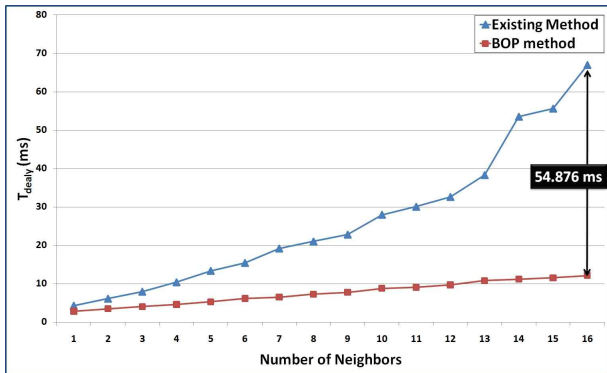


그림 12. 인접노드의 증가에 따른 네트워크 가입 지연시간

Fig. 12. Network joining delay according to increment of neighbors.

의해서 발생하는 트래픽과 같이 경쟁되어야 하므로 기존의 방법은 시뮬레이션 결과보다 더 많은 지연시간을 요구하게 될 것이다.

2. MSBS 방법의 모의실험

가. 모의실험 환경

MSBS 방법의 모의실험은 그림 13과 같이 중앙 조정자 노드를 기준으로 총 54개의 라우터로 120 × 75m 범위의 트리형 토폴로지를 구성한다. 이동 노드는 네트워크의 상황을 모니터링하기 위한 이동 감시 및 제어기기를 할당한다.

표 6은 각 노드의 주소, 조종자 노드와의 홉 수, T_i 에 대한 정보를 나타낸다. T_i 는 1-4095의 범위에서 랜덤 모델을 적용하였으며, 1000이하의 T_i 가 산출될 확률을 높였다.

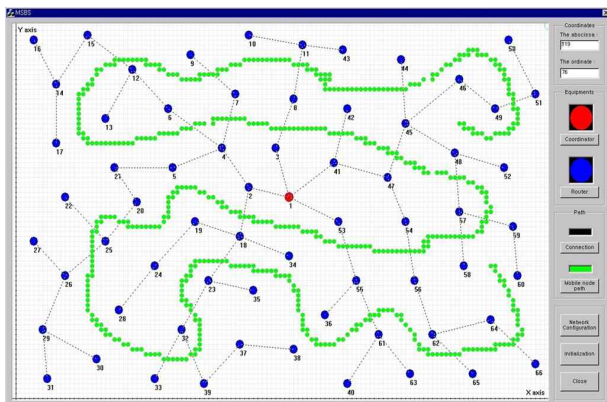


그림 13. 센서 네트워크 환경에서의 이동 노드의 경로
Fig. 13. Path of mobile node in LR-WPAN.

표 6. FFD들의 정보 (A:주소, D:Depth, T:트래픽량)

Table 6. Information of FFDs.

(A:Address, D:Depth, T:Traffic volume)

| A | D | T | 16 | 8 | 352 | 33 | 6 | 87 | 50 | 8 | 53 |
|----|---|------|----|----|------|----|---|------|----|---|------|
| | | | 17 | 2 | 28 | 34 | 4 | 278 | 51 | 7 | 266 |
| 1 | 1 | 3336 | 18 | 3 | 37 | 35 | 5 | 53 | 52 | 6 | 164 |
| 2 | 2 | 396 | 19 | 4 | 66 | 36 | 4 | 43 | 53 | 2 | 150 |
| 3 | 2 | 771 | 20 | 6 | 463 | 37 | 7 | 146 | 54 | 4 | 93 |
| 4 | 3 | 336 | 21 | 5 | 580 | 38 | 8 | 918 | 55 | 3 | 3403 |
| 5 | 4 | 1759 | 22 | 8 | 200 | 39 | 6 | 3438 | 56 | 5 | 56 |
| 6 | 4 | 110 | 23 | 4 | 45 | 40 | 5 | 47 | 57 | 6 | 110 |
| 7 | 4 | 375 | 24 | 5 | 1906 | 41 | 2 | 122 | 58 | 7 | 101 |
| 8 | 3 | 684 | 25 | 7 | 951 | 42 | 3 | 71 | 59 | 7 | 291 |
| 9 | 5 | 33 | 26 | 8 | 606 | 43 | 5 | 819 | 60 | 8 | 84 |
| 10 | 5 | 402 | 27 | 9 | 499 | 44 | 5 | 775 | 61 | 4 | 843 |
| 11 | 4 | 121 | 28 | 6 | 114 | 45 | 4 | 142 | 62 | 6 | 3438 |
| 12 | 5 | 1983 | 29 | 9 | 113 | 46 | 5 | 148 | 63 | 5 | 1584 |
| 13 | 6 | 1005 | 30 | 10 | 47 | 47 | 3 | 2023 | 64 | 5 | 61 |
| 14 | 7 | 66 | 31 | 10 | 438 | 48 | 5 | 117 | 65 | 6 | 970 |
| 15 | 6 | 34 | 32 | 5 | 109 | 49 | 6 | 1156 | 66 | 7 | 2410 |

나. 모의실험 결과

이동 노드 경로에 따라 네트워크 가입 시 조종자 노드와의 홉 정보는 그림 14의 그래프와 같이 나타난다.

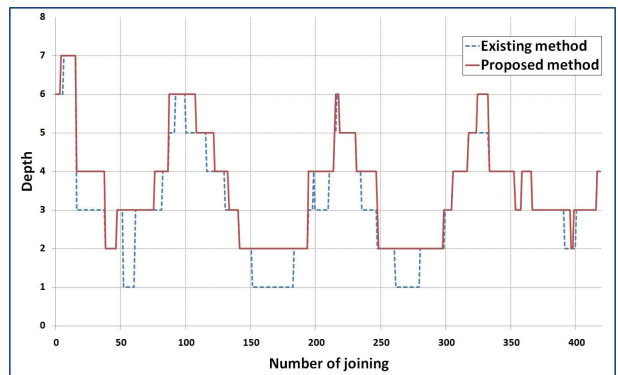


그림 14. 각 지점에서의 Depth

Fig. 14. Depth in each spot.

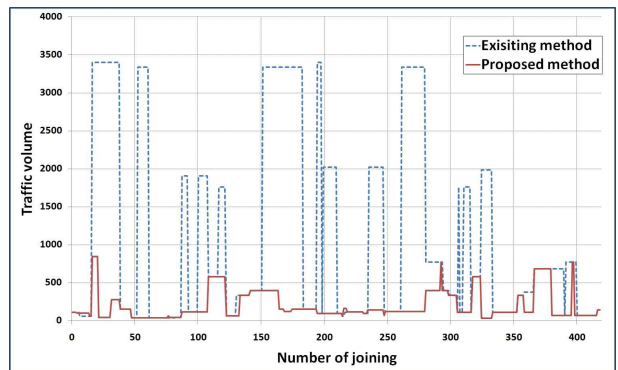


그림 15. 각 지점에서의 트래픽량

Fig. 15. Traffic volume in each spot.

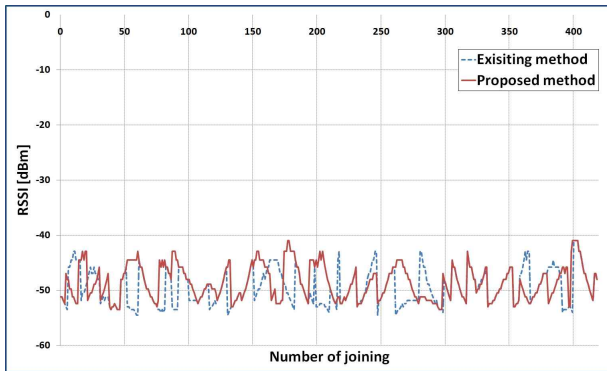


그림 16. 각 지점에서의 전파 수신 강도

Fig. 16. RSSI in each spot.

평균적으로 기존의 방법은 3.17 홉을 나타내고, 제안된 방법은 3.57 홉을 나타낸다. 기존의 방법이 홉을 우선시 고려하여 제안된 방법보다 최단 거리의 노드를 통하여 가입하는 것을 볼 수 있다.

그림 15는 이동 노드가 네트워크 가입을 했을 시 노드의 이동 위치에 따른 FFD의 트래픽 처리량을 나타낸 그래프이다. 기존의 방법은 트래픽이 높은 FFD에 망 가입을 하는 경우가 발생하여 트래픽 처리량 평균이 1134.92로 나타났다. 제안된 방법은 평균 197.4로 트래픽 처리량이 적은 FFD를 통하여 네트워크 가입 절차가 이루어진다. 그림 14의 그래프에서 X축인 이동 노드의 가입 지점 중 53-61지점에서 제안된 방법이 기존의 방법보다 2 홉의 차이가 난다. 기존의 방법이 낮은 홉으로 가입되었지만 데이터 처리량이 3336인 트래픽이 집중되어 있는 조종자 노드를 통하여 네트워크 가입을 하여 시스템의 성능을 저하 시키는 요인이 된다. 하지만, 제안된 방법은 데이터 처리량이 36.87인 FFD를 통해서 네트워크에 가입하여, 기존의 방법보다 안정적인 노드를 통하여 네트워크에 가입한다.

RSSI는 15m 범위 내에 있는 노드들은 고려하지 않고, 이후에 있는 노드들에 대해서만 BOP 구간에서 가입확률을 낮춘다. 그림 16은 네트워크 가입 시 FFD와 이동노드간의 RSSI를 나타낸 것이다. 기존 방법의 평균 RSSI는 -49.47 [dBm]인 반면 제안된 방법은 -48.55 [dBm]로 보다 통신 품질이 향상된 노드를 통하여 네트워크 가입하는 것을 볼 수 있다.

실제 무선 센서 네트워크 환경에서 이동 노드의 객체가 증가하게 되면, 기존 방법의 경우 트래픽을 고려하지 않고 네트워크 가입 절차를 수행하므로 전체 시스템의 성능을 유지하기 어렵게 된다. 반면 제안된 방법의

경우, 주변 노드들의 상황을 분석하여 트래픽 오버로드가 발생하는 확률을 절감하고, 보다 효율적으로 네트워크 구성을 할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 노드의 이동성을 고려한 효율적인 네트워크 구성 방법을 제안하였다. 기존의 네트워크 가입은 인접 노드들의 정보를 받으면서 인접 테이블을 만드는 과정이 필요하고, 충돌회피기법으로 CSMA/CA 메커니즘을 이용하여 처리 지연 시간이 발생된다. 제안된 방법은 BOP구간을 이용하여 정해진 시구간을 이용하므로 기존의 방법보다 처리 속도를 향상시킬 수 있다.

본 논문에서 제안한 MSBS 방법은 기존의 조종자 노드와의 홉 수만 고려한 네트워크 구성 방식을 트래픽 처리량과 RSSI를 함께 고려하여 네트워크 시스템 성능을 유지하면서 노드의 이동성을 지원한다.

모의실험을 통하여 제안된 방법이 효율적으로 네트워크에 가입이 되는 것을 볼 수 있었다. 그리고 네트워크 가입에 중요한 요소인 조종자 노드와의 홉 수, RSSI, 트래픽 처리량이 상충 관계로 형성되어 있다는 것을 확인 할 수 있었다.

향후 연구로 상호 상관 관계에 있는 3가지 요소들의 영향들을 분석하여, 네트워크 환경 특성에 따른 동적으로 적용 가능한 알고리즘들을 고려해 볼 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] I.F. Akyildiz, T. Melodia, K.R. Chowdhury, "A survey on wireless multimedia sensor networks", *Computer Networks, Elsevier Science*, Vol. 51, Issue 4, pp. 921 - 960, March, 2007.
- [2] S. Kim, S. Pakzad, D. Culler, J. Demmel, G. Fenves, S. Glaser, and M. Turon., "Health Monitoring of Civil Infrastructures using Wireless Sensor Networks", *In Proc. Fourth International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN'07)*, April 2007.
- [3] Jennifer Yick, Biswanath Mukherjee, and Dipak Ghosal, "Wireless Sensor Network Survey", *Computer Networks, Elsevier Science*, Vol. 52, Issue 12, pp. 2292 - 2330, August, 2008.
- [4] D-S. Kim, W.H. Kwon and Z.J. Haas,

- “Implementation of Virtual Factory Communication Systems using Manufacturing Message Specification”, *The Handbook of Industrial Information Technology*, CRC Press, FL, June, 2004.
- [5] 이정일, 김동성, “공장 환경에서의 무선 제어 시스템을 위한 센서네트워크의 동적 스케줄링 기법에 대한 연구”, *전자공학회논문지*, 제45권 SC편, 제2호, 45~54쪽, 2008년.
- [6] 김동성, 이정일, “실시간 혼합 트래픽 전송을 위한 산업용 IEEE 802.15.4 망의 체계적 전송 기법”, *전자공학회논문지*, 제45권 CI편, 제6호, 18~26쪽, 2008년.
- [7] F. De Pellegrini, D. Miorandi, S. Vitturi, and A. Zanella, “On the Use of Wireless Networks at Low Level of Factory Automation Systems,” *IEEE Transaction on Industrial Informatics*, pp. 129-143, Vol. 2, No. 2, 2006.
- [8] A. Willig, “Recent and Emerging Topics in Wireless Industrial Communications”: A Selection, *IEEE Transaction on Industrial Informatics*, Volume 4, Issue 2, pp. 102 - 124, May 2008.
- [9] Jui-Ting Weng, Jiunn Ru La,; Wanjiun Liao, “Modeling node mobility for reliable packet delivery in mobile ip networks”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 5, no.7, pp. 1676-1684, July, 2006.
- [10] T. L. Chin, P. Ramanathan, K. K. Saluja and K. C. Wang, “Exposure for Collaborative Detection using Mobile Sensor Networks”, *IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems Conference 2005*, pp. 743-750, November. 2005.
- [11] Lee, S., Lee, K. C. Lee, M. H. Harashima, F., “Integration of mobile vehicles for automated material handling using Profibus and IEEE 802.11 networks”, *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, Vol. 49, Issue 3, pp. 693-701, 2002.
- [12] Mahlknecht, S., “Virtual wired control networks: a wireless approach with Bluetooth”, *Africon Conference in Africa, 2002, IEEE AFRICON. 6th*, Vol. 1, 2-4 pp. 269 - 272, 2002.
- [13] IEEE standard for information technology - telecommunications and information exchange between systems - local and metropolitan area networks - specific requirement part 15.4: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (WPANs). IEEE Std 802.15.4a-2007 (Amendment to IEEE Std 802.15.4-2006), pages 1-203, 2007.
- [14] Ho-In Jeon and Yeon-soo Kim, “BOP (Beacon-Only Period) and Beacon Scheduling for MEU (Mesh-Enabled USN) Devices”, *The 9th International Conference on Advanced Communication Technology*, Vol. 2, pp. 1139-1142, February, 2007.
- [15] Feng-Li Lian, Moyne, J.R., Tilbury, D.M., “Performance Evaluation of Control Networks: Ethernet, ControlNet, and DeviceNet”, *IEEE Control Systems Magazine*, Vol. 21, no. 1, pp. 66-83, Feb, 2001.
- [16] Burchfield, T R, Venkatesan, S, Weiner, D, “Maximizing Throughput in ZigBee Wireless Networks through Analysis, Simulations and Implementations”, *In Proceedings of the International Workshop on Localized Algorithms and Protocols for Wireless Sensor Networks Santa Fe*, New Mexico, June 18-20, LOCALGOS 2007. CTI Press, Athens, pp 15-29, 2007.

— 저 자 소 개 —



이 재 형(학생회원)
2010년 금오공과대학교
전자공학부 학사졸업
2010년 9월~현재 동대학원
제어임베디드공학과 석사

<주관심분야 : 실시간 시스템, 네트워크 기반 임베디드 시스템, 고속 핸드오버 기법>



이 응 수(학생회원)
2010년 금오공과대학교
전자공학부 학사졸업
2010년 9월~현재 동대학원
제어임베디드공학과 석사

<주관심분야 : 산업용 통신망, 임베디드 시스템 설계, 무선 센서 네트워크>



김 동 성(정회원)
1992년 한양대학교
전자공학과 학사졸업
2003년 서울대학교, 전기 및
컴퓨터공학부 박사졸업
2004년 Cornell 대학교 ECE
박사후 연구원

2004년 3월~현재 금오공대 전자공학부 부교수
2007년 12월~UC Davis, 전산학부, 방문교수
<주관심분야 : 산업용 통신망, 네트워크 기반 임베디드 시스템 설계 및 성능분석>