

목적지의 가족집합을 이용한 향상된 ZigBee 라우팅 알고리즘

논문
59-12-34

Enhanced Routing Algorithm for ZigBee using a Family Set of a Destination Node

신현재* · 안세영** · 조영준*** · 안순신†
(Hyun-Jae Shin · Sae-Young Ahn · Young-Jun Jo · Sun-Shin An)

Abstract - Hierarchical tree routing is an inefficient routing method of transmitting data in a wireless sensor network. Zigbee routing which is made to improve inefficiency of the hierarchical tree routing only fulfills the tree routing when a destination node doesn't exist in neighbor nodes of a router. We suggest a TFSR algorithm that is improved more than the zigbee routing. The TFSR algorithm generates a family set including a parent node and child nodes and over of a destination node, and uses this information. According to simulation results, the TFSR algorithm reduces routing costs over 30 percent in comparison with the hierarchical tree routing and the zigbee routing.

Key Words : Zigbee, Tree Routing, Family Set, Cskip, IEEE 802.15.4

1. 서론

ZigBee 네트워크 계층에서는 네트워크의 구성 및 디스커버리 절차, 주소 할당 방식 및 이를 바탕으로 한 계층적 라우팅과 라우팅 테이블에 기반한 메쉬 라우팅 기법 등 네트워크 운용에 필요한 기능들을 정의하고 있다.[1][2] 특히, 계층적 라우팅은 메모리 자원이 매우 작은 단말장치(End device)에 적합한 라우팅 기법이다. 계층적 라우팅에서 각 노드는 라우팅 테이블을 사용하지 않고 목적지 노드의 주소만을 이용하여 해당 노드의 자식 노드 또는 부모 노드들을 중간 노드로 선택하여 데이터를 전달하게 된다. 그러나 부모 및 자식 링크 이외에 다른 이웃 노드와의 링크를 고려하지 않으므로 목적지 노드가 소스 노드의 이웃 노드라 할지라도 트리 구조를 따라 데이터가 전달되므로 라우팅 비용에 비효율성의 문제가 나타나게 된다. 본 논문에서 ZigBee 표준에서 정의하고 있는 이웃 노드 테이블, ZigBee 트리 구조, address 부여체계(Cskip) [3][4]를 계층적 라우터에 활용하여 계층적 라우팅의 비효율성 문제를 해결하고자 한다. 즉 계층적 트리 라우팅[5]을 따라 목적지 노드로의 중간 노드를 선택하되, 목적지 노드까지 라우팅 비용을 줄일 수 있는 이웃 노드(목적지 가족집합)가 있는 경우에는 그 이웃 노드를 중간 노드로 선택함으로써 목적지 노드까지의 라우팅 비용을 절감하게 된다.

본 논문의 구성은 2장에서 ZigBee 및 802.15.4[6], 계층적 라우팅 및 이웃 노드 테이블에 관하여 살펴보고, 3장에서는

계층적 라우팅이 가지는 문제점을 파악한다. 4장에서는 계층적 라우팅의 성능을 향상시킬 수 있는 TFSR (Tree Family Set Routing) 알고리즘을 제안하고 5장의 TFSR의 성능 평가와 시뮬레이션 결과를 알아보고 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

2. ZigBee Network

ZigBee 네트워크 계층은 스타 및 트리 토폴로지뿐만 아니라 점 대 점 방식의 메쉬 토폴로지를 지원한다. 또한 네트워크를 스스로 형성할 수 있으며, 디바이스의 합류(Join) 및 이탈(leave) 등 네트워크의 동적인 변화에 적용할 수 있는 자가 치유의 특성을 갖는다. 네트워크를 지향하는 ZigBee 솔루션에 적합하도록 라우팅 테이블의 사용하지 않고 라우팅을 지원할 수 있는 Cskip 값 기반의 블록 어드레싱을 사용한다. 이렇게 할당된 주소는 계층적인 네트워크 토폴로지 정보를 담게 되고 라우팅 테이블을 지원할 수 없는 RFD(Reduced Function Device)들도 무선 환경에서 멀티 홉으로 데이터를 전송할 수 있게 된다. 동시에 통신 효율성을 지원하기 위해서 테이블 기반의 라우팅 방식인 On-demand 경로 탐색(Route Discover)방식을 지원하며, 여기에는 경로 탐색에 필요한 RREQ(Route Request) 및 RREP(Route Reply) 메시지의 타입 및 경로 탐색 알고리즘이 정의되어 있다.[7][8]

2.1 계층적 라우팅 알고리즘

ZigBee의 계층적 라우팅은 블록 어드레싱이라는 불리는 주소 할당 방식을 기반으로 한다. 네트워크를 구성하는 각 노드들은 자식의 부모 노드로부터 16비트의 네트워크 주소를 할당받게 되고, 이 주소는 특정 네트워크 내에서 유일한 값이다. 또한, 할당 받은 네트워크 주소 및 자신의 트리 레

* 준 회원 : 고려대 공대 모바일솔루션학과 석사과정

** 정 회원 : 고려대 공대 전자전기공학과 박사과정

*** 준 회원 : 고려대 공대 전자전기공학과 석사과정

† 교신저자, 정회원 : 고려대 전자전기공학과 교수

E-mail : sunshin@dsys.korea.ac.kr

접수일자 : 2010년 8월 30일

최종완료 : 2010년 11월 10일

벨을 이용하여 자신의 자식 노드에게 할당할 수 있는 주소 공간을 계산할 수 있다. 각 레벨의 노드들에게 주어진 주소 공간의 크기인 $Cskip(d)$ 는 $nwkmaxChildren(Cm)$, $nwkMaxDepth(Lm)$ 과 $nwkmaxRouter(Rm)$ 을 이용하여 계산할 수 있으며 그 공식은 (1)과 같다.

$$Cskip(d) = \begin{cases} 1 + Cm(Lm - d - 1) & ,if Rm = 1 \\ \frac{1 + Cm - Rm - Cm \times Rm^{Lm-d-1}}{1 - Rm} & ,otherwise \end{cases} \quad (1)$$

여기서 Cm 이란 한 코디네이터에 join 할 수 있는 자식 노드의 최대 개수고 Rm 은 Cm 중에 라우터 역할을 할 수 있는 노드의 최대 개수고 Lm 은 망의 최대 depth를 의미한다. 또 d 는 구하고자 하는 depth의 level을 의미한다.

ZigBee 표준에서는 다음과 같이 Cm , Rm , Lm 을 정의한다.

- $nwkMaxChilderen(Cm)$: 한 노드가 받아들일 수 있는 children 최대 개수 (default: 7, 0~254)
- $nwkMaxRouters(Rm)$: 한 노드가 받아들일 수 있는 children 중 라우터의 최대 개수 (default: 5, 0~254)
- $nwkMaxDepth(Lm)$: 망내 최대 depth(default: 5, 0~16)

네트워크에 합류한 노드들은 $Cskip$ 크기만큼의 자손 노드를 가질 수 있으며 자식 노드의 디바이스 종류에 따라 그 할당방식이 다르다. 라우팅 능력을 갖는 노드들은 Coordinator에게 먼저 Join한 순서대로 식(2)에 의해 주소를 부여 받는다.

$$A_k = (A_{parent} + 1) + Cskip(d) \times (k - 1) \quad (1 \leq k \leq Rm) \quad (2)$$

또 k 가 Rm 번째 join된 노드들에게 주소를 모두 부여하거나 라우팅 능력이 없는 노드는 식(3)에 의해 주소를 부여 받는다. 즉 k 가 $Rm+1$ 번째 join되는 노드와 라우팅 능력이 없는 노드가 순차적으로 주소를 부여 받는다.

$$A_n = A_{parent} + Cskip(d) \times Rm + (k - Rm) \quad (Rm \leq k \leq Cm) \quad (3)$$

이렇게 형성된 주소 기반의 계층 구조를 이용하면, 각 노드는 목적지 노드가 자신의 자손인지 아닌지 여부를 확인할 수 있으며 예를 들어 네트워크 주소 A 를 가지는 레벨 d 의 노드가 목적지 노드 D 에 대해서 공식 (4)를 만족할 경우, 목적지 노드 D 는 A 의 자손 노드임을 알 수 있다.

$$A < D < A + Cskip(d - 1) \quad (4)$$

ZigBee 계층적 라우팅에서는 위의 공식을 통해 목적지 노드가 자신의 자손 여부인지만 판단하여 맞을 경우 자식

노드에게 데이터를 보내고 그렇지 않을 경우 부모 노드에게 전달한다.

2.2 이웃 노드 테이블

ZigBee 표준에 따르면 모든 노드들은 이웃 노드 테이블을 가지며, 이웃 노드 테이블에는 각 노드의 1홉 통신 거리 안에 있는 모든 노드들에 대한 정보가 저장된다. 또한 사용자는 이웃 노드 테이블의 크기를 지정할 수 있으며, 이때에는 제한된 개수의 이웃 노드 정보만 저장될 수 있다. 이웃 노드 테이블에 저장되는 정보로는 PANId, 64비트 IEEE 주소, 16비트네트워크 주소, 디바이스 종류, 그리고 해당 노드와의 논리적 관계가 있으며 선택적으로 비컨 순서(Beacon order), 트리 레벨, 합류 허가 여부(Permit joining)등의 정보가 포함될 수 있다.

이웃 노드 테이블의 각 엔트리는 각 노드가 네트워크에 합류하기 전 네트워크 디스커버리 절차를 거치면서 생성된다. 즉 기존에 구성된 네트워크를 탐색하고자 하는 노드는 NLME-NETWORK-DISCOVERY.request 요청을 하며, 이에 대한 응답으로 수신한 비컨을 통해 기존에 이미 네트워크에 합류해 있는 노드들에 관한 정보를 파악하고 이 정보를 이웃 노드 테이블에 저장한다. 반대로, 이웃 노드가 네트워크를 이탈할 경우에는 이웃 노드 테이블의 해당 엔트리가 삭제되며, 이러한 사실을 NLME-LEAVE.indication 메시지 수신을 통해 알 수 있다. 또 각 노드는 이웃 노드 엔트리에 해당하는 패킷을 수신할 때 마다 관련 정보를 업데이트 한다.

3. 계층적 라우팅의 문제점

계층적 라우팅은 다음 홉(Next Hop)을 선택할 때에 부모 및 자식의 링크만을 고려하게 된다. 즉, 목적지 노드가 자신에게 할당된 주소 공간에 포함될 경우, 자신의 자손 노드 중의 하나임으로 해당하는 자식 노드를 다음 홉의 노드로 선택하고 그렇지 않을 경우에는 부모 노드를 다음 홉의 노드로 선택하고 데이터를 전달한다. 따라서 그림 1에서 보는 것과 같이 목적지 노드가 소스 노드의 1홉 통신 거리 안에 있다 하더라도 목적지 노드는 소스 노드와 부모 자식의 관계를 갖지 않으므로 트리의 계층구조를 따라 전달된다. 결국 소스 노드가 보낸 패킷은 트리의 루트 노드인 PAN Coordinator까지 거슬러 올라갔다가 목적지 노드로 전달된다. 그림 1의 예에서 1홉이 가능한 패킷의 전달을 6홉의 라우팅 비용이 들어가게 된다. 즉 목적지 노드가 소스 노드의 1홉 통신 거리 안에 있는 경우 외에도 많은 경우에서 라우팅 경로에 오버헤드가 생기게 된다.

ZigBee 라우팅은 계층적 라우팅의 문제점을 보완하기 위하여 소스나 중계 노드에서 먼저 목적지 주소를 이웃 노드 테이블에서 찾는다. 만약 이웃 노드 테이블에 목적지 노드가 존재한다면 직접 목적지 노드로 다음 경로를 선택한다. 그렇지 않은 경우에 목적지의 주소가 자손에 속하면 자식 노드로 경로 선택하고 자손이 아니라면 부모 노드로 다음 경로를 선택한다.

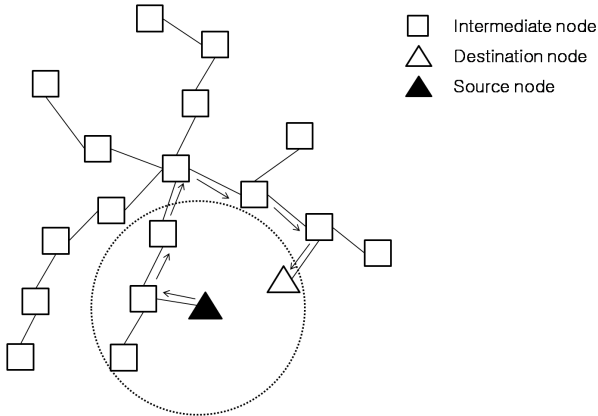


그림 1 계층적 라우팅의 문제점
Fig. 1 The problem of hierarchical routing

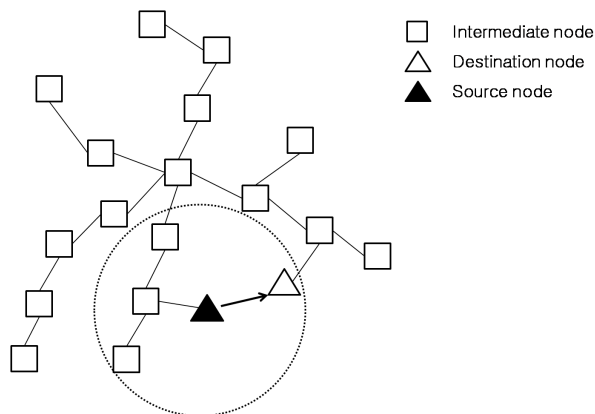


그림 2 ZigBee 라우팅
Fig. 2 The Zigbee routing

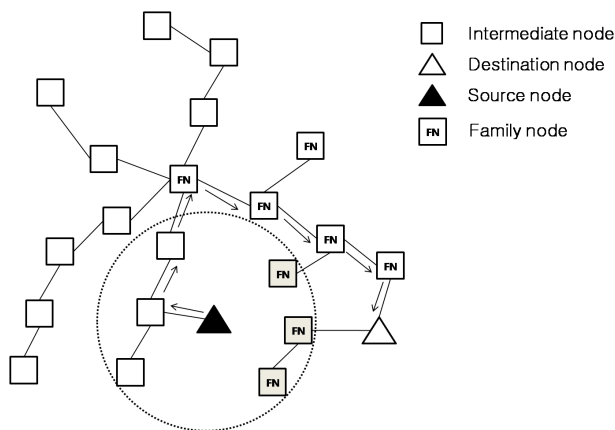


그림 3 ZigBee 라우팅의 문제점
Fig. 3 The problem of ZigBee routing

그림 2에서 ZigBee 라우팅은 계층적 라우팅의 문제점을 해결하였지만 그림 3과 같은 경우 문제를 해결하지 못한다. 즉 소스의 전송 영역에 목적지 노드가 위치하지 않으면 자신의 부모 노드로 경로를 선택하고 ZigBee 라우팅을 통하여 목적지 노드를 찾아가게 되는데 이웃 노드에 목적지의 가족

집합인 가족 노드(FN)가 존재한다면 FN으로 경로를 선택하는 것보다 비효율적이다.

4. TFSR (Tree Family Set Routing, TFSR1)

목적지의 부모와 목적지의 자식 관계에 있는 노드들은 최대 1hop의 관계를 갖고 있다. 여기서 1hop은 논리적인 의미의 1hop 뿐만 아니라 물리적인 의미로 전송거리에 목적지 노드가 있다는 의미이다. 또 목적지의 부모의 부모(조부모)와 자식의 자식(손자) 노드들은 최대 2hop의 관계를 갖고 있다. 즉 이들 노드에게 데이터를 전달하면 적어도 물리적으로 2hop안에 데이터를 목적지 노드까지 전달 할 수 있다. 이를 확장하면 목적지 노드로부터 논리적인 hop수를 늘려가며 부모와 자식 관계에 있는 노드들을 가족집합(Family set)이라고 한다. 즉 가족집합은 목적지를 중심으로 상위 depth와 하위 depth를 증가시켜 Tree 토폴로지가 수용할 수 있는 최대 depth까지 부모와 자식 관계를 갖는 모든 노드들을 찾아 그룹화 한 것이다.

TFSR 알고리즘은 이웃 노드들 중 목적지 노드와 목적지 노드의 가족집합이 있는지 확인하고 목적지까지 hop count를 계산하여 가장 작은 hop count를 갖는 가족집합의 이웃 노드를 찾아 다음 경로로 선택한다. 만약 이웃 노드 테이블에 목적지의 가족집합이 없다면 Pure Tree 라우팅을 통하여 목적지를 찾아 간다.

TFSR와 ZigBee 라우팅과의 차이는 이웃 노드 테이블에서 목적지 노드만을 찾는 것이 아니고 그 목적지의 가족집합을 찾아 최적의 경로를 선택한다.(그림 4)

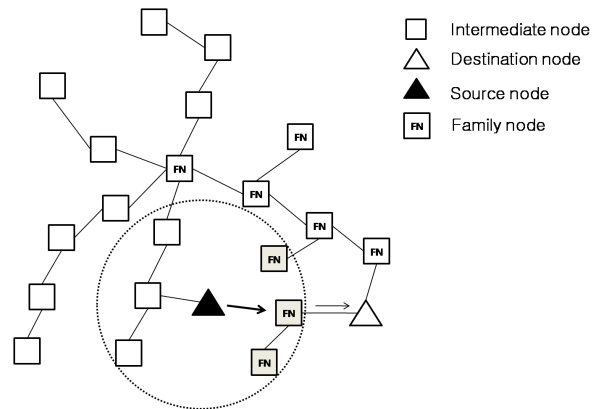


그림 4 TFSR (Tree Family Set Routing)
Fig. 4 TFSR (Tree Family Set Routing)

링크 요청이 들어오면 이웃 노드 테이블에 목적지 노드가 있는지를 먼저 파악한다. 만약 이웃 노드에 목적지 노드가 존재한다면 바로 전송하고 아니면 목적지의 가족집합을 형성한다. 생성된 가족집합이 이웃 노드에 존재한다면 그들 중 최소의 hop count로 목적지에 도달할 수 있는 Next hop node를 선택한다. 만약 이웃 노드 테이블에 가족집합이 존재하지 않으면 ZigBee 라우팅을 수행한다. 선택된 node와 Pure Tree로 기대되는 경로의 hop count를 비교하여 선택된 node가 우위에 있다면 next hop node로 경로를 선택하

고 전송하고 그렇지 않을 경우에는 Pure Tree 라우팅 수행한다.

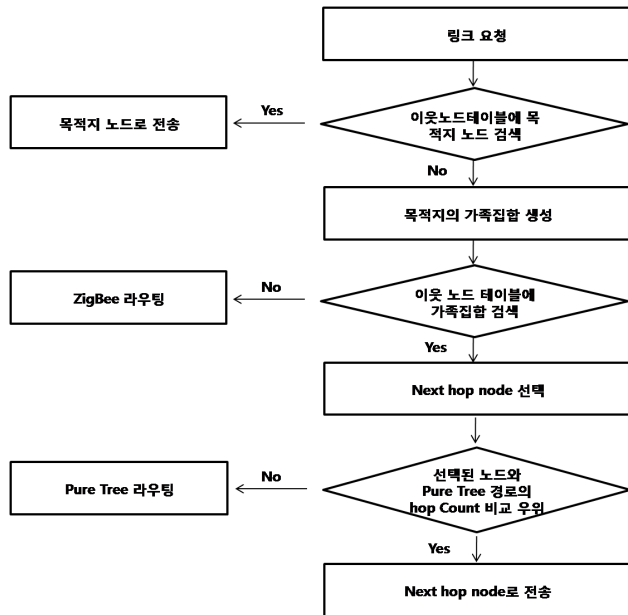


그림 5 TFSA 알고리즘
Fig. 5 TFSA algorithm

이웃 노드 테이블에서 해당 노드를 검색할 때에는 순차 검색을 통하여 한다고 가정한다.

4.1 목적지 가족집합 생성 알고리즘

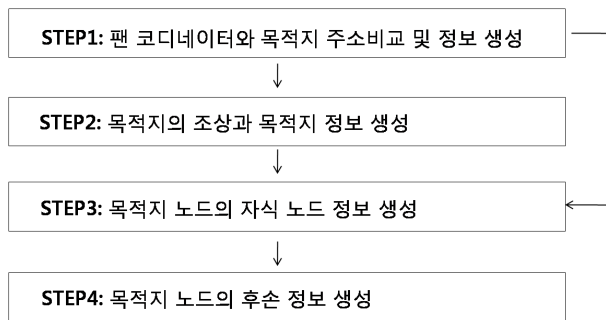


그림 6 목적지의 가족집합 생성 알고리즘
Fig. 6 Destination's family set creation algorithm

목적지의 가족집합은 PAN Coordinator부터 목적지 노드의 조상과 목적지 그리고 목적지의 자식, 자손 노드들이며 이는 Tree 구조에서 논리적이 관계가 있는 노드들이다.

STEP 1은 조상 노드의 뿌리인 PAN Coordinator와 목적지 노드가 같은지를 판단하고 같다면 STEP 3, 4로 이동하여 자손 노드들의 depth, index, address를 찾는다. 만약 목적지와 PAN Coordinator가 같다면 모든 노드가 목적지의 가족집합이 된다.

만약 같지 않다면 STEP2로 이동하여 목적지의 조상 노드들의 depth, index, address를 정보를 생성한다. 목적지까지 조상 노드는 한 depth 당 하나의 노드만 가족집합에 존

재한다. 목적지 노드까지 조상 노드들을 찾으면 STEP3으로 이동한다.

STEP3은 목적지 노드의 자식 노드를 구한다. STEP4는 목적지 노드의 자식 노드들로부터 목적지의 자손 노드들의 정보를 생성한다.

가족집합의 자손들의 정보는 식(5)만큼 존재한다.

$$LM-Depth \sum_{x=1} C_m^x \tag{5}$$

Ancestor_Family (조상 배열)과 Descendant_Family (후손 배열)은 depth, index, address 노드 정보를 갖는 데이터 구조체를 저장하는 배열을 의미한다.

4.2. Next hop node 결정

목적지로 보낼 경로를 선택할 때 이웃 노드 테이블에서 목적지 노드의 가족 노드가 여러 개 존재하거나 하나도 존재하지 않을 때와 TFSA 경로가 루프가 되는 현상을 피하는 효율적인 라우팅 알고리즘이 있어야 한다.

첫째, 목적지까지 기대되는 가족 노드가 여러 개 존재할 때 다음과 같은 우선순위로 다음 경로를 선택한다.

(1) 이웃한 가족집합 중 목적지와 관계가 최소 hop(depth 차이가 가장 작은 것)을 갖는 노드들을 선택한다. (동일한 크기의 depth라면 PAN Coordinator에 가까운 노드가 우선한다.)

(2) 선택한 노드들 중 address가 가장 작은 노드를 선택한다.(가장 작은 index를 의미한다.)

둘째, 이웃한 가족집합이 존재하지 않을 때 다음과 같은 경로를 선택한다.

(1) 공식(4)에 의하여 목적지 노드가 자신의 자손 군에 속하면 ZigBee 라우팅으로 다음 경로 노드를 선택한다.

(2) 자신의 자손 군에 속하지 않으면 자신의 부모 노드로 다음 경로를 선택한다. (Pure Tree routing)

셋째, 경로가 루프가 되는 현상을 피하는 라우팅 알고리즘은 다음과 같다.

(1) 다음 경로로 선택된 노드로 데이터를 전송할 때 예상되는 목적지 노드의 Hop Count를 전송한다.

(2) 중계 요청을 받은 노드는 요청 받은 Hop Count와 자신이 목적지에 도달하는 Hop Count를 비교한다. Hop Count보다 자신의 예상 Hop Count가 작다면 다음 경로에 자신의 예상 Hop Count 정보를 실어 전송한다. 만약 요청 받은 Hop Count가 같거나 크게 되면 라우팅을 멈추고 이전 노드에 라우팅 실패를 알린다.

단, 이웃한 노드들 중 목적지 노드와 관련된 노드가 없을 때에는 pure tree 라우팅을 통해 라우팅 전송하고 역시 예상 Hop Count 정보를 보낸다.

4.3 TFSA 알고리즘의 향상

센서 네트워크 가장 중요한 이슈는 에너지 소모이다. TFSA 알고리즘은 ZigBee 라우팅 보다 작은 Hop의 소스와 목적지간 경로 설정을 위하여 ZigBee 라우팅 보다 많은 계

산량을 필요로 한다. 즉 전송 회수를 줄이고 계산은 많아져 Trade-off가 되지만 전송시 에너지 소모가 계산에 의한 프로세싱 에너지 소모보다 크므로 적절히 TFSR을 조정하여 효율적인 라우팅을 만들 수 있다.

• ZigBee 옵션을 이용한 TFSR 알고리즘 성능 향상

이웃 노드 테이블을 형성 할 때 저장되는 정보는 PANid, 64비트 IEEE 주소, 16비트네트워크 주소, 디바이스 종류, 그리고 해당 노드와의 논리적 관계가 있으며 선택적으로 비컨 순서(Beacon order), 트리 레벨, 합류 허가 여부(Permit joining)등의 정보가 포함될 수 있다. 선택 사항으로 이웃 노드 테이블을 형성할 때 depth와 index 정보를 관리하여 목적지의 가족집합을 생성하는 알고리즘과 이웃 노드들과 가족집합과 검색하는 과정의 계산량을 줄일 수 있다.

• 필요한 가족집합만을 찾는 방법(TFSR 2)

첫째 우선 오리지널 TFSR(그림 6)의 경우 목적지의 모든 가족집합을 찾는다. 하지만 라우팅을 할 수 있는 능력을 갖는 가족집합만 필요하므로 코멘트 처리가 되어 있는 $RM < j \leq CM$ 부분은 가족집합을 찾기 위하여 연산을 수행하거나 가족집합 배열에 저장할 필요가 없다.

둘째 계산량과 메모리 공간을 줄이기 위하여 목적지 노드로부터 논리적으로 떨어져 있는 Hop count를 제한하여 가족집합을 생성한다. 예로 목적지 노드로부터 논리적으로 2hop 떨어져 있는 가족집합은 목적지의 조상으로는 목적지의 부모, 목적지의 부모의 부모 2개의 노드이고 목적지의 후손으로는 목적지의 자식(Cm개)과 목적지의 자식의 자식(Cm²개)만을 가족집합으로 찾으려면 된다. 후손 중 라우팅 능력을 갖는 노드만 가족집합으로 생성한다면 목적지의 자식은 Rm개 그리고 목적지의 자식의 자식은 Rm²개 이다. 따라서 메모리 공간과 연산량을 줄일 수 있다.

목적지 가족집합의 결정 인자를 $m(0 \leq m \leq Lm)$ 이라고 하면 다음과 같은 메모리 리소스를 절약한다. Ancestor Family 배열 가족집합에 m개의 노드와 Descendant Family 배열 가족집합에 식(6)의 값을 갖는다.

$$\sum_{x=1}^m Rm^x \tag{6}$$

• 목적지의 조상만을 가족집합으로 정의하는 방법(TFSR 3)

목적지의 조상 노드만을 가족집합으로 형성하는 방법으로 그림 6의 STEP1과 STEP2 만으로 가족집합을 생성하기 때문에 연산량이 감소하고 메모리 리소스도 Depth개로 감소한다. 하지만 목적지의 후손만을 가족집합으로 정의 하는 방법은 고려하지 않는다. 이유는 후손 생성을 위한 연산량과 메모리 리소스 사용은 조상 생성을 위한 것 보다 많이 소모되기 때문이다.

5. 성능 평가

NS2 시뮬레이션을 통한 성능 평가에서는 ZigBee의 계층적 라우팅과 제안 알고리즘의 라우팅 비용의 비교를 통해 성능향상의 정도를 평가한다. 시뮬레이션에서 사용한 네트

워크 크기는 100x100m², 각 노드의 최대 통신거리는 20m으로 동일하게 설정하였으며, 각 노드의 위치는 임의의 값으로 주어진다. 따라서 각 시뮬레이션에서의 네트워크 토폴로지는 항상 변하며, 노드의 위치에 따라 네트워크에 합류하지 못하는 노드가 생길 수 있다. 본 성능 평가에서는 주어진 네트워크의 총 노드 수 중 80% 이상의 노드가 네트워크를 구성할 경우에만 시뮬레이션 결과를 인정하였다. 또한 ZigBee의 네트워크 구성 및 디스커버리 절차를 따르기 위하여 Cm=4, Rm=4, Lm=5로 설정하여 각 노드가 가질 수 있는 자식 노드 수와 최대 트리 깊이를 제한하였다.

ZigBee 표준에서는 이웃 노드 테이블의 크기가 제한되어 있을 때, 이웃 노드 엔트리의 선택에 대하여 정의 되어 있지 않다. 즉, 최대 이웃 노드 수(MaxNeighbor) 만큼 엔트리가 저장되어 있을 경우, 이웃 노드 엔트리를 업데이트하지 않는 방법, 링크가 가장 좋은 이웃 노드들로 계속해서 업데이트 하는 방법 등 다양한 정책이 적용 될 수 있다. 본 논문에서는 Coordinator와 나머지 노드들 간의 통신을 최적화 하기 위하여 이웃 노드 테이블이 최대 이웃 노드 수 만큼의 엔트리를 가지고 있다고 하더라도 이웃 노드의 엔트리보다 낮은 트리 레벨을 갖는 이웃 노드가 있을 경우 이웃 노드 테이블을 업데이트하는 방법을 선택하였다. 또 부모 및 자식 노드 이외에 순수 이웃 노드들만 이웃 노드 테이블에 저장하도록 하였다.

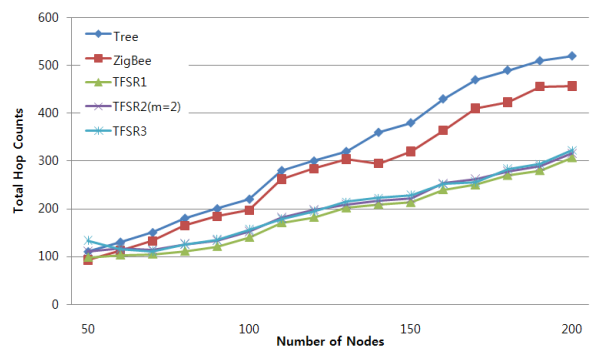


그림 7 목적지 노드가 Coordinator이고 최대 이웃 노드 수가 5일 경우 모든 노드로부터 목적지까지의 평균 총 hop count

Fig. 7 Total hop counts from all nodes to a destination in case the destination node is coordinator and the maximum number of neighbor nodes

그림 7과 8은 최대 이웃 노드 수를 5, 네트워크에 합류한 모든 노드들의 목적지 노드를 Coordinator로 설정하여 모든 노드들의 라우팅 비용의 합을 계산함으로써, Tree(Pure Tree routing), ZigBee 계층적 라우팅과 TFSR1(오리지널 TFSR), TFSR 2, TFSR3 라우팅 비용을 비교하였다. 이때 라우팅 비용은 동일한 네트워크 토폴로지서 계산 되어진다. 그림 7에서 보는 것 처럼 네트워크의 총 노드 수가 증가하면서 총 라우팅 hop count는 증가하는 현상을 확인할 수 있으며, 제한된 TFSR 알고리즘에서의 라우팅 비용이 계층적 라우팅에 비해 현저하게 낮은 사실을 발견할 수 있다. 또한 그림 8에서는 네트워크의 총 노드 수에 따라 목적지

도달까지의 각 노드 당 평균 hop count를 비교해 볼 수 있으며 계층적 라우팅에서의 각 노드 당 평균 홉 수가 3~4인 것에 비해, 제안한 알고리즘은 약 2홉만이 소모된다. 계층적 라우팅에서는 네트워크의 총 노드 수가 증가함에 따라 각 노드 당 평균 hop count가 증가하는데 비해 제안한 방식에서는 일정한 경향이 나타나는데, 이는 네트워크의 총 노드 수가 증가함에 따라 높은 트리 레벨을 가진 노드가 증가하는 반면 부모 노드보다 낮은 트리 레벨을 가진 이웃 노드도 함께 증가하기 때문이다.

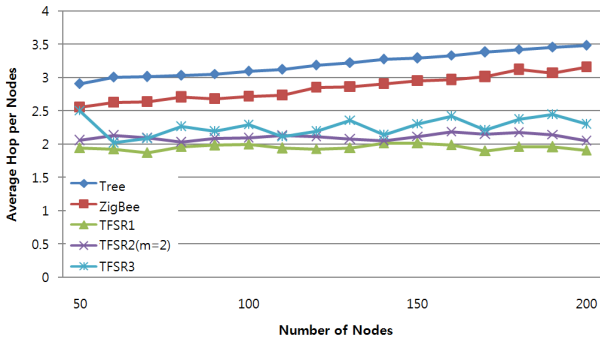


그림 8 목적지 노드가 Coordinator이고 최대 이웃 노드 수가 5일 경우 목적지 도달까지의 노드 당 평균 hop count

Fig. 8 Average hop per nodes from all nodes to a destination in case the destination node is coordinator and the maximum number of neighbor nodes is 5

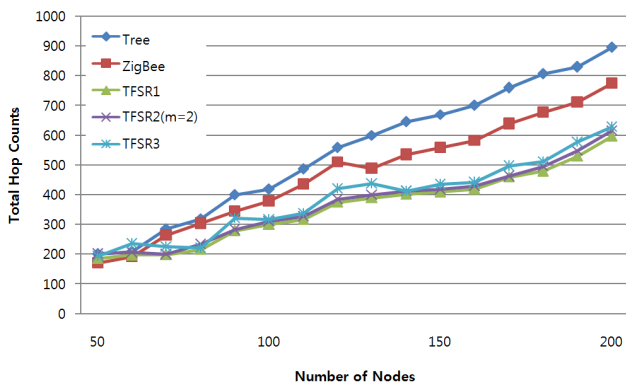


그림 9 목적지 노드가 임의의 노드이고 최대 이웃 노드 수가 5일 경우 모든 노드로부터 목적지까지의 평균 총 hop count

Fig. 9 Total hop counts from all nodes to a destination in case the destination is an arbitrary node and the maximum number of neighbor nodes is 5

그림 9와 10에서는 최대 이웃 노드 수를 5, 목적지 노드를 임의의 노드로 설정하고 시뮬레이션을 50회 이상 반복하여 평균 라우팅 비용을 비교함으로써 성능을 평가해 보았다. 일반적으로 목적지 노드가 임의의 노드일 경우 패킷이 목적지 노드를 가지는 조상 노드까지 올라갔다가 목적지까지 내려와야 되기 때문에, 모든 노드를 고려했을 경우 목적

지가 Coordinator일 경우보다 라우팅 비용이 크다고 할 수 있다. 따라서 그림 9에서 보는 것처럼, 목적지 노드가 임의로 선택될 경우 계층적 라우팅에서 소요되는 총 hop count는 목적지 노드가 Coordinator인 경우 보다 2배 가까이 많다. 또 네트워크의 총 노드 수가 증가함에 따라, 각 노드 당 평균 hop count가 4.5에서 6까지 증가하게 된다. 제안한 알고리즘에서 역시 목적지 노드가 Coordinator일 때보다 각 노드당 평균 hop count가 약 1에서 1.5홉 증가된다. 그러나 동일한 환경에서 계층적 라우팅과 비교할 때에 목적지 노드가 Coordinator인 경우보다 노드 당 평균 hop count의 차는 오히려 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 제안한 알고리즘의 기본적인 목적과 부합하는 결과임을 확인할 수 있으며, 각 노드가 전송하는 패킷은 목적지 노드를 자식으로 하는 노드까지 트리를 따라 올라가는 것이 아니라, 목적지 노드까지 라우팅 비용이 가장 작은 이웃 노드의 가족집합 노드에게 패킷을 전달함으로써 라우팅 비용이 절감된 결과이다.

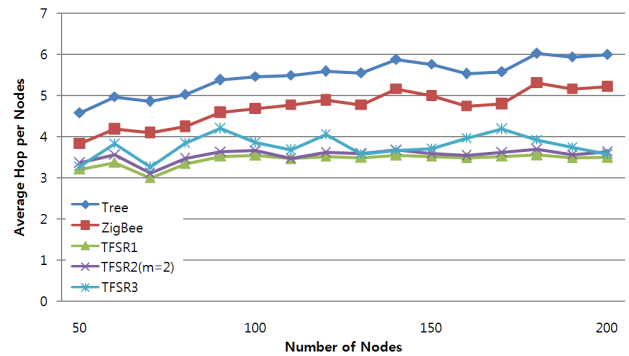


그림 10 목적지 노드가 임의의 노드이고 최대 이웃 노드 수가 5일 경우 목적지 도달까지의 노드 당 평균 hop count

Fig. 10 Average hop per nodes from all nodes to a destination in case the destination is an arbitrary node and the maximum number of neighbor nodes is 5.

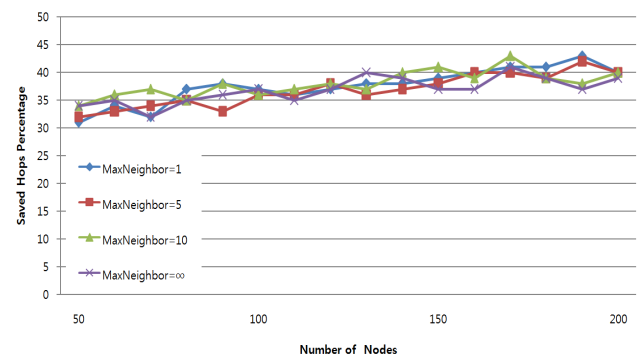


그림 11 목적지 노드가 coordinator일 경우 최대 이웃 노드의 개수에 따른 계층적 라우팅 대비 라우팅 비용 절감율

Fig. 11 The rate of reduction of routing cost by the hierarchical routing algorithm following the maximum number of neighbor nodes in case the destination is coordinator

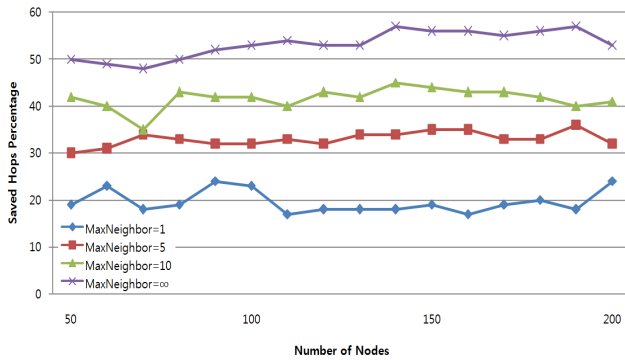


그림 12 목적지 노드가 임의의 노드일 경우 최대 이웃 노드의 개수에 따른 계층적 라우팅 대비 라우팅 비용 절감률

Fig. 12 The rate of reduction of routing cost by the hierarchical routing algorithm following the maximum number of neighbor nodes in case the destination is an arbitrary node

그림 11과 12에서는 각 노드가 가질 수 있는 최대 이웃 노드의 수를 조절하면서 계층적 알고리즘 대비 제안한 알고리즘의 성능 향상 정도를 측정하였다. 그림 11은 목적지 노드가 Coordinator일 때, 이웃 노드의 개수를 1, 5, 10, 무한대로 설정하여 계층적 알고리즘에 필요한 라우팅 비용 대비 절감된 라우팅 비용을 보여준다. 성능 평가에서는 각 경우에 대해 큰 차이가 나타나지 않는 것을 볼 수 있으며 이는 이웃 노드 테이블의 관리 정책이 낮은 레벨의 이웃 노드를 우선으로 저장하기 때문임을 알 수 있다. 즉 Coordinator로 데이터를 전달하기 위해서 이웃 노드들 중 트리 레벨이 가장 작은 노드를 다음 hop의 노드로 선택하게 되는데 최대 이웃 노드의 개수와 상관없이 트리 레벨이 가장 작은 이웃 노드는 같기 때문이다. 이점을 분석해 보면 제안한 방식에서의 라우팅 비용은 ZigBee의 테이블 기반 라우팅의 성능과 유사하다는 점을 알 수 있다. 왜냐하면, 최단 거리를 통해서 Coordinator까지 데이터를 전달하기 위해서는 이웃 노드 내에 트리 레벨이 가장 낮은 노드가 중간 노드로 선택되어야 하기 때문이다.

그림 12에서는 목적지 노드가 임의의 노드이기 때문에 이웃 노드의 엔트리 수가 많을수록 TFSR의 가족집합 중 최적의 노드가 이웃 노드에 있을 가능성이 높아진다. 따라서 이웃 노드의 수가 증가함에 따라 절감된 총 hop count의 비율은 약 20%에서 50%로 급격하게 증가되는 사실을 확인할 수 있다. 하지만 이웃 노드를 제안하지 않았을 때 절감된 총 hop count의 비율이 약 50%인데 비해, 최대 이웃 노드의 수를 5~10정도만 설정하더라도 약 30~40%의 라우팅 비용을 줄일 수 있다는 점은 의미 있는 결과라고 할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서 ZigBee 계층적 라우팅의 라우팅 비용의 비효율성 문제를 제기하고 ZigBee 표준에서 정의된 이웃 노드 테이블과 주소 부여 체계인 Cskip을 이용하여 라우팅 성능을 향상할 수 있는 방안을 제안하였다. 제안한 알고리즘

은 이웃 노드 테이블에서 목적지 노드의 최적의 가족집합이 있다면 next hop node로 선택하게 하였으며, 이는 최대 이웃 노드의 개수가 제한되지 않은 경우에도 적용이 가능하며 경로가 루프되는 문제가 발생하지 않도록 설계되었다.

시뮬레이션을 통한 성능 평가에서는 TFSR을 사용할 때에 계층적 라우팅에 필요한 라우팅 비용의 30%이상을 절감할 수 있는 것을 확인하였으며, 특히, 목적지 노드가 Coordinator일 경우 이웃 노드 테이블을 활용하는 것만으로 ZigBee의 테이블 기반 라우팅의 성능과 유사할 효과를 낼 수 있다. 또한 목적지 노드가 임의의 노드일 경우에는 각 노드가 이웃에 위치한 얼마나 유용한 가족 노드를 많이 가지고 있는지에 따라 라우팅 비용의 절감 정도가 다르게 나타났다. 이는 네트워크의 응용에 따라 최대 이웃 노드의 수 및 이웃 노드 테이블의 관리 정책, TFSR의 m 요소를 달라함으로써 성능을 최적화 할 수 있다. 따라서 제안한 알고리즘을 효율적인 네트워크 성능을 요구하는 많은 응용 분야에서 활용 될 수 있다. 특히 조밀한 환경에 많은 노드들이 밀집해 있고 빈번한 데이터 전송이 필요한 응용 분야에서 본 논문의 알고리즘 TFSR을 극대화 시킬 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] P. Baronti, P. Pillai, V. Chook, S. Chessa, A. Gotta, and Y. F. Hu, "Wireless Sensor Networks: a Survey on the State of the Art and the 802.15.4 and ZigBee Standards", *Computer Communications*, 30, 2007, pp. 1655-1695.
- [2] ZigBee Alliance. ZigBee Specification, Version 1.0, December 2004.
- [3] Ahn S, Cho J and An S 2008 Slotted beacon scheduling using ZigBee Cskip mechanism SENSORCOMM, 2008, pp 103 - 8
- [4] Ran Peng, Sun Mao-heng, Zou You-min, "ZigBee Routing Selection Strategy Based on Data Services and Energy-balanced ZigBee Routing", *Proceedings of the 2006 IEEE Asia-Pacific Conference on Services Computing 6. Type-style and fonts.*
- [5] G. Ding, Z. Sahinoglu, P. Orlik, J. Zhang, and B. Bhargava, "Tree-Based Data Broadcast in IEEE 802.15.4 and ZigBee Networks," Technical report, Mitsubishi Electric Research Laboratories, submitted to *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2004.
- [6] IEEE std. 802. 15. 4 - 2003: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2003.pdf>
- [7] C.E. Perkins and E.M. Royer, Ad-hoc on-demand distance vector routing, in: *Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA'99) (February 1999) pp. 90 - 100.*
- [8] G. Montenegro, "AODV for IEEE 802.15.4 Networks", draft-montenegro-lowpan-aodv-00, IETF Internet Draft (Work in progress), July, 2005.

저 자 소 개



신 현 재 (慎賢宰)

2009 : BS degree in Industrial System and Information Engineering, Korea University.

2009~ : MS Candidate, Mobile Solution Engineering, Korea University



안 세 영 (安世榮)

1999 : BS degree in Electronics and Information Engineering, Korea University.

2004 : MS degree in Telecommunication System Technology, Korea University.

2005~ : Ph.D Candidate, Electrical Engineering, Korea University



조 영 준 (曹永濬)

2009 : BS degree in Information and Communication Engineering, SungKyul University.

2009~ : MS Candidate, Electrical Engineering, Korea University



안 순 신 (安淳臣)

1973 : BS degree in, Seoul University.

1975 : MS degree in Electronics Engineering, KAIST University.

1979 : Ph.D degree in Electric and Information, ENSEEIHT.

1982~ : Professor of Electronics Engineering, Korea University