

Zigbee 네트워크에서 Depth를 이용한 효율적인 중간 경로 감소 알고리즘

준회원 김 덕 영*, 정 우 섭*, 종신회원 조 성 호*

An Efficient Shortcut Path Algorithm using Depth in Zigbee Network

Duckyoung Kim*, Woosub Jung*, Associate Members, Sung Ho Cho** Lifelong Member

요 약

ZigBee 네트워크에서 ZigBee 노드는 배터리로 동작하기 때문에 에너지의 효율적인 사용은 필수적이다. 에너지를 효율적으로 사용하기 위해서는 불필요한 네트워크 트래픽을 줄이는 것은 하나의 방법이다. 본 논문에서는 ZigBee 네트워크에서 목적지 노드의 depth를 이용한 효율적인 중간 경유지 감소 알고리즘을 제시한다. 기존 tree 라우팅에서는 각 노드가 오직 자신의 부모 노드 또는 자식 노드에게만 데이터를 전송하는 비효율적인 방식을 채택하고 있다. 마찬가지로 본 논문에서 제안하는 효율적인 중간 경로 감소 알고리즘도 tree 라우팅을 기반으로 하고 있다. 하지만 네이버 테이블과 목적지의 depth를 이용하여 부모나 자식노드만이 아닌 다른 이웃노드에게 전송 가능케 함으로서 그 동안 Tree 라우팅에서 발생했던 coordinator 데이터 병목 현상과 불필요 중간 경로를 최소화시킬 수 있는 알고리즘을 제안한다.

Key Words : Zigbee Networks, Tree Routing, Depth Tracking, USN, WSN

ABSTRACT

In ZigBee network, using energy efficiently is necessary because ZigBee node works by battery. To use energy efficiently, it is one of the way to reduce unnecessary network traffic. In this paper, it presents efficient shortcut routing algorithm using depth of destination node in ZigBee network. In traditional tree routing, each node transfers data only to its own parent or child node, which is inefficient way. Efficient shortcut routing algorithm is also based on tree routing. However, we suggests the algorithm with using neighbor table and depth of destination that is able to transfer data to other neighbor node, not only to parent or child node. It minimizes coordinator bottleneck state and unnecessary intermediate routing path which happens in traditional tree routing.

I. 서 론

ZigBee는 IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 하는 저속의 데이터 전송 기술로써 가격이 저렴하고 저 전력의 특징이 있다. IEEE 802.15.4 Task Group에

서 저전력과 저속의 통신을 위해서 PHY와 MAC의 ZigBee 표준화를 진행하고 있고, ZigBee Alliance에서는 PHY, MAC, Data Link, Network, Application Layer까지 표준화를 진행하고 있다. 계속해서 ZigBee alliance에서는 ZigBee기술의 여러

* 본 연구는 지식경제부 R&D 지원 프로그램의 일환으로, 한국산업기술평가위원회의 지원으로 수행되었음.

** 한양대학교 전자컴퓨터통신 공학부(banggayo3@nate.com, dragon@hanyang.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-11-539, 접수일자 : 2009년 11월 2일, 최종논문접수일자 : 2009년 12월 10일

가지 단점을 보완하기 위해 ZigBee V1.0^[1], ZigBee 2006^[2]과 가장 최근에는 ZigBee 2007^[3]을 제정하고 있다.

ZigBee는 시간과 장소에 구애 받지 않는 Ubiquitous 환경을 실현하고자 하는 목적으로 만들어진 기술 중 하나이다. 따라서 ZigBee 노드들은 장소와 시간의 제약 없이 통신이 가능해야 한다. 하지만 배터리를 사용하는 시스템적 특성 때문에 네트워크를 최대한 오래 유지하기 위해서 데이터 전송 시 전원 효율적인 측면을 고려하는 것이 가장 중요한 문제이다. 이런 문제들을 해결하기 위하여 여러 가지 연구가 진행되고 있다.

H. Choi와 Y. Baek는 센서네트워크에서 중첩 방지 기법을 적용한 에너지 효율적인 클러스터링을 사용한다^[4]. 에너지를 효율적으로 사용하기 위해 비콘 전송 스케줄링을 기법을 도입한 방법도 제시되었다^[5]. 라우팅 부분에서도 에너지를 고려한 새로운 방법들이 제시되고 있다^{[6][7]}. tree 라우팅을 사용하면서 네이머 테이블을 이용하여 기존의 tree 라우팅보다 효율적인 성능을 낼 수 있는 방법들이 제시되고 있다. T. Kim과 T. S Lopez는 자신의 이웃 노드와 목적지 노드간의 전달 흡수를 계산하여 목적지까지 가장 적은 흡수를 갖는 노드로 데이터를 전송하는 방법을 제시했다^[8]. 또한 목적지 노드가 자신의 이웃 노드이거나 이웃 노드의 자식 노드나 부모 노드인지를 판단하여 데이터를 전송하는 방법도 제시되었다^[9]. 하지만 이런 연구들은 오직 이웃 노드 테이블에 목적지 노드가 있거나 이웃 노드의 부모나 자식 노드가 목적지가 될 경우에만 효율적인 라우팅이 가능하다.

기존의 tree 라우팅 방식에서는 단순한 계산식만으로 목적지를 결정하는 방법을 사용 하지만 데이터 전송 경로가 오직 부모 노드나 자식 노드로 제한된다는 치명적인 약점이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 분산주소할당 기법(Distributed Address Assignment Mechanism)^[3]에 의하여 목적지 노드의 depth를 미리 판단하고 또한 출발지 노드의 depth와 비교해 목적지 노드의 부모나 자식 노드가 나타날 때 까지 최적의 경로로 데이터를 전송하는 알고리즘을 제시한다. 다시 말하면 본 논문에서 제시하는 알고리즘은 자신의 디바이스 주소와 목적지의 디바이스 주소를 이용해 방향을 결정하고 자신의 네트워크 depth와 목적지의 네트워크 depth를 이용해 이웃 노드로 전송하는 방식을 설명한다.

본 논문의 세부 구성은 다음과 같다. 제 2장에서

는 기존 ZigBee 라우팅 알고리즘에 대하여 간략하게 설명하고 제 3장에서는 제안하는 효율적인 중간 경로 감소 라우팅 알고리즘에 대해 설명하였다. 또한 제안한 알고리즘에 포함되는 세부 알고리즘인 Depth Tracking Algorithm(DTA)와 Direction Selecting Algorithm(DSA)에 대해 설명하였다. 마지막으로 제 4장에서는 제안하는 알고리즘을 도입한 라우팅에 대한 시뮬레이션 자료를 분석 하였다. 마지막으로 제 5장에서는 결론 및 향후 연구에 대해서 기술하였다.

II. ZigBee Tree 라우팅

2.1 ZigBee Tree 라우팅 네트워크의 구성

ZigBee tree 라우팅 네트워크는 부모-자식 관계를 통해 tree 구조로 구성된다. 가장 먼저 coordinator가 tree 구조에서 가장 상위 부모 노드로 지정되고 나머지 하위 노드들이 방사형으로 coordinator에 가까운 자식 노드부터 위치하게 된다. 또한 coordinator를 제외하고 자식 노드를 가지고 있는 노드를 router라고 부르고 자식 노드를 가지지 못하는 노드는 end device라고 부른다.

2.2 ZigBee 분산 주소 할당 기법(Distributed Address Assignment Mechanism)

ZigBee 네트워크는 기본적으로 coordinator를 중심으로 Personal Area Network(PAN)망을 구성한다. coordinator는 자신이 coordinator라는 것을 주위의 노드에 알리고 네트워크 시작을 알린다. 이런 정보를 받은 주위의 자식 노드들은 부모 노드인 coordinator에게 자신의 주소를 요청한다. 여기서 coordinator는 식(1)에 의하여 모든 자식 노드들에게 주소를 할당할 수 있는 범위를 계산할 수 있게 된다.

$$Cskip(d) = \begin{cases} 1 + C_m \cdot (L_m - d - 1), & \text{if } R_m = 1 \\ \frac{1 + C_m - R_m - C_m \cdot R_m^{L_m - d - 1}}{1 - R_m}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

식 (1)에서 나타내는 변수 값들은 아래 표 1과 같다^[3].

또한 주소를 할당 할 수 있는 기능을 가진 coordinator와 router는 네트워크에 참여하고자 하는 노드가 연결을 요청한다면 coordinator나 router는 계산식(2)에 의해 16bit의 네트워크 주소를 할당하게 된다. 이 16bit 주소는 tree 라우팅을 위한 주소가 된다^[3].

표 1. 식(1)에 대한 변수 정리

| 변수 | 의미 |
|------------|------------------------|
| $Cskip(d)$ | 자식 노드들이 가질 수 있는 주소 범위 |
| Cm | 가질 수 있는 최대 자식 노드 개수 |
| Lm | 네트워크의 최대 depth |
| Rm | 자식으로 가질 수 있는 최대 라우터 개수 |
| d | 자신의 네트워크 depth |

$$An = Aparent + Cskip(d) \cdot Nr + 1 \quad (2)$$

식 (2)에 대한 변수를 정리하면 표 2와 같다.

그림 1은 분산 주소 할당 기법을 사용하여 네트워크를 구성한 예이다. $Cm=4$, $Rm=4$, $Lm=3$ 의 네트워크 주소 값과 $Cskip$ 값을 나타내었다.

표 2. 식 (2)에 대한 변수 정리

| 변수 | 의미 |
|--------------|---|
| A_n | 부모 노드가 연결을 요청한 노드에게 할당할 주소 |
| A_{parent} | 연결을 요청한 노드의 부모 노드 네트워크 주소 |
| $Cskip(d)$ | 연결을 요청하는 노드의 부모 노드가 가질 수 있는 자식 노드들의 주소 범위 |
| Nr | 연결을 요청한 노드의 부모 노드에 연결되어 있는 자식 노드 수 |

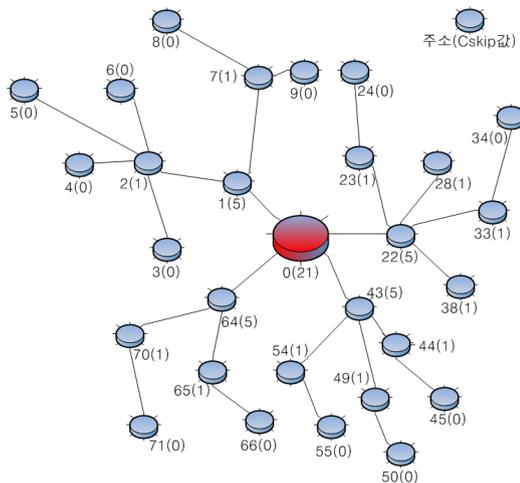


그림 1. 분산 주소 할당 기법을 이용한 네트워크 구성의 예

2.3 ZigBee Tree 라우팅 알고리즘

tree 라우팅 알고리즘은 별도의 라우팅 테이블 없이 분산 주소 할당 기법과 간단한 계산식을 통해 데이터를 전송하는 방식이다.

tree 라우팅 알고리즘은 오로지 부모 노드나 자식 노드로만 데이터를 전송하는 약점을 지니고 있다. 예를 들어 그림 1의 네트워크에서 네트워크 주소 66인 노드에서 네트워크 주소 50인 노드로 데이터 전송한다고 가정한다. ZigBee tree 라우팅 알고리즘에 의하면 66->65->64->0->43->49->50의 절차로 총 6홉에 걸쳐 데이터가 전송된다. 이에 사용된 ZigBee tree 라우팅 알고리즘은 다음과 같이 기술된다^[3].

$$A < D < A + Cskip(d-1) \quad (3)$$

식 (3)에서 A는 자신의 네트워크 주소이고 D는 목적지의 네트워크 주소이며 d는 자신의 네트워크 depth이다. D가 식(3)을 만족하여 자신의 자식 노드라 판별된다면 전송 될 다음 노드의 주소 N은 식 (4)로 판별한다^[3].

$$N = A + 1 + \left\lfloor \frac{D - (A + 1)}{Cskip(d)} \right\rfloor \cdot Cskip(d) \quad (4)$$

만약 식 (3)에서 목적지 노드가 자신의 자식 노드로 판별되지 않았을 경우에는 부모 노드로 데이터를 전송하게 된다.

III. 중간 경로 감소 알고리즘

기존 tree 라우팅 방식은 간단한 수식만으로 데이터를 전송하는 장점이 있다. 하지만 coordinator 데이터 집중화 현상으로 네트워크에서 가장 중요한 역할을 하는 coordinator의 수명 단축 현상과 전송 경로가 오로지 부모나 자식 노드로 한정되는 전송 경로로 인해 불필요한 중간 경유지가 생기는 맹점이 존재한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 중간 경유지를 감소시키는 세부 알고리즘인 Depth Tracking Algorithm(DTA)와 Direction Selecting Algorithm(DSA)로 구성된다. 이하 편의상 DTA와 DSA로 대체하여 호칭하도록 하겠다.

3.1 Direction Selecting Algorithm(DSA)

ZigBee 분산 주소 할당 방식에 의해서 구성된

네트워크는 트리 구조를 나타내며 중앙의 coordinator을 중심으로 방사형으로 자식 노드들이 퍼져 있는 모양을 띄고 있다. 본 논문에서 제시한 중간 경로 감소 알고리즘에서 데이터 전송 방향을 결정하는 것은 중요한 요인으로 작용한다. 따라서 소스 노드는 이웃 노드로 데이터를 전송하기 전 소스 노드의 네트워크 주소와 최종 목적지 노드의 네트워크 주소를 비교하여 다음 목적지 노드를 선택하게 된다.

그림 2는 DSA의 흐름도를 나타낸 그림이다. DSA는 앞서 말한 데이터 전송 방향을 결정하는 알고리즘이다. 만약 그림 1의 네트워크의 66번 노드에서 50번 노드로 데이터를 전송하고 66번 노드는 네이머 테이블에 54, 55, 65번 노드가 이웃 노드로 설정되어 있다고 가정하자.

그림 3은 네트워크 주소 66인 노드에서 50인 노드로 데이터를 전송해야 할 경우 DSA를 적용한 예이다. 66번 노드가 가지고 있는 네이머 테이블 중 네트워크 주소 54 노드나 55 노드로 전송하는 것이 50번 노드에 가깝게 전송되는 것이기 때문에 DSA(그림 2)에 의하여 전송 가능 경로로 설정하게 된다. 요약해보면 DSA는 네트워크의 주소를 이용하여 목적지 노드와 가까운 방향으로 전송할 수 있게 해주는 데이터 전송 방향 결정 알고리즘이다.

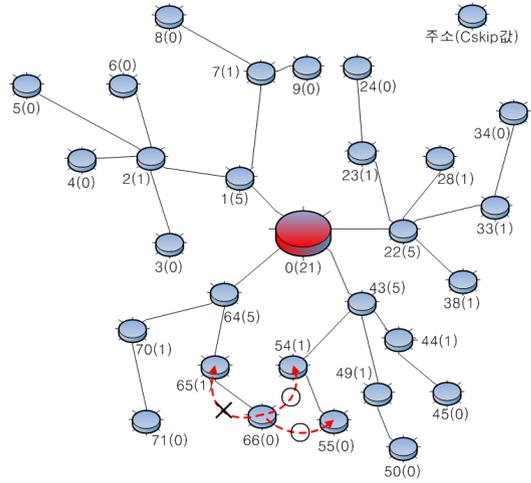


그림 3. DSA를 사용한 데이터 전송의 예

3.2 Depth Tracking Routing Algorithm(DTA)

DTA는 최종 목적지 노드의 depth값을 참고로 하여 목적지 노드로 데이터를 전송하는 방식이다. 우선적으로 소스 노드는 DSA를 적용하여 데이터 전송 가능 경로를 설정한다. 여기서 설정된 전송 가능 경로 중 DTA를 적용하여 그 중 가장 효율적으로 전송할 수 있는 노드를 선택하여 전송하게 된다. 그림 2에서 DTA를 적용하면 54번 노드와 55번 노드 중 목적지 50번 노드와 depth가 같은 55번 노드로 전송되게 된다. 하지만 네트워크의 크기가 커질수록 단지 목적지의 depth만을 tracking하여 데이터를 전송하게 되면 효율이 다소 떨어지는 단점이 있다. 이를 보완하기 위하여 네트워크의 크기에 따라 DTA를 적용하는 부분을 조절하여 알고리즘을 효율적으로 제시하였다. 그림 4는 간단한 DTA의 흐름도이다.

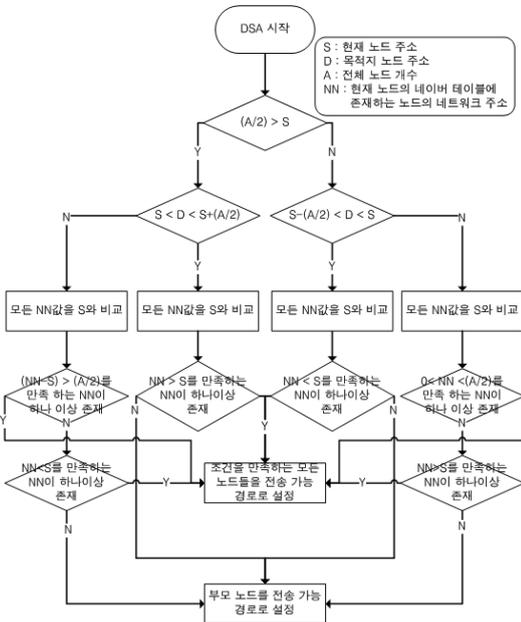


그림 2. DSA 전송 알고리즘

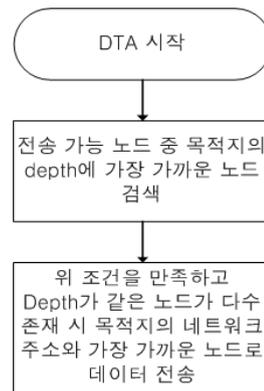


그림 4. DTA 전송 알고리즘

3.3 전송 경로 감소 알고리즘

네트워크의 크기에 따라서 DTA 알고리즘을 적용했을 때 전송 경로 알고리즘의 성능차이가 나타난다. 따라서 네트워크의 크기에 따라 threshold값을 다르게 적용하여 전송 경로 감소 알고리즘을 설계해야 한다. 본 논문에서 시뮬레이션을 진행한 환경은 $Cm=4, Rm=4, Lm=4$ 의 노드 개수 30, 50, 70, 90인 네트워크이다.

그림 5의 threshold값은 사전에 각 네트워크별로 시뮬레이션을 진행하여 가장 최적의 효율을 나타내는 threshold값을 선정할 것이다. 그림 5에서 네이버 테이블에 존재하는 노드 중 목적지 노드를 자손으로 갖는 노드를 판단하는 식(5)와 조상으로 갖는 노드를 판단하는 식(6),(7)은 다음과 같다.

$$A_{nei} < D < A_{nei} + Cskip(d-1) \quad (5)$$

$$FirstAdd = (Cskip(0) \cdot \lfloor D/Cskip \rfloor) + 1 \quad (6)$$

$$FirstAdd \leq A_{nei} < FirstAdd \quad (7)$$

만약 식 (5)를 만족한다면 만족하는 노드 중 depth가 가장 큰 노드로 데이터를 전송한다. 식(6)은 자신의 최상위 라우터 네트워크 주소를 구하는 식이다. 식 (7)을 만족하면 최상위 라우터의 자손이

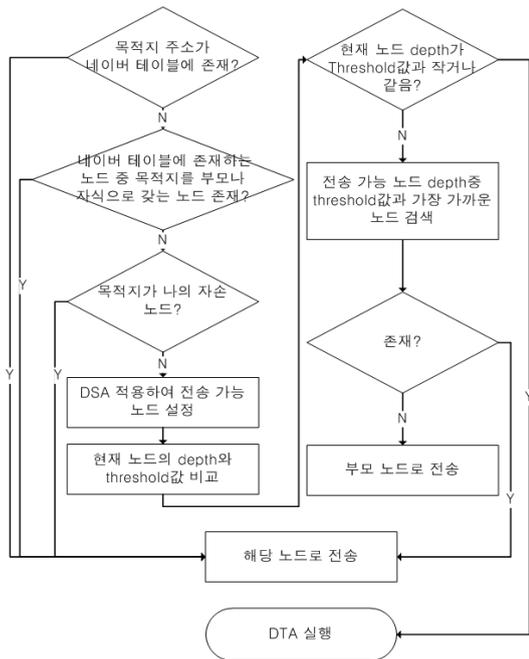


그림 5. DSA와 DTA를 적용한 전송 경로 알고리즘

므로 자신의 줄기에 속해 있다는 것을 알 수 있다¹⁰⁾. 따라서 목적지의 depth와 가장 가까운 부모 노드로 전송한다. 또한 목적지가 현재 노드의 자손 노드인지를 확인 판단하는 과정은 식(3)을 이용하게 된다³⁾. 전체적인 알고리즘을 적용하게 되면 다음과 같이 데이터가 전송되는 것을 볼 수 있다.

그림 6은 DSA와 DTA가 적용된 전송 경로 감소 알고리즘의 데이터 전송 예이다. 점선으로 표시된 화살표는 DSA에 의한 전송 가능 경로이고 DTA에 의하여 전송 경로가 확정되어 전송이 이뤄지게 된다. tree 라우팅에 의하면 총 6홉에 걸쳐 전송이 완료되지만 전송 경로 감소 알고리즘을 적용시키면 총 2홉에 전송이 완료되는 것을 볼 수 있다.

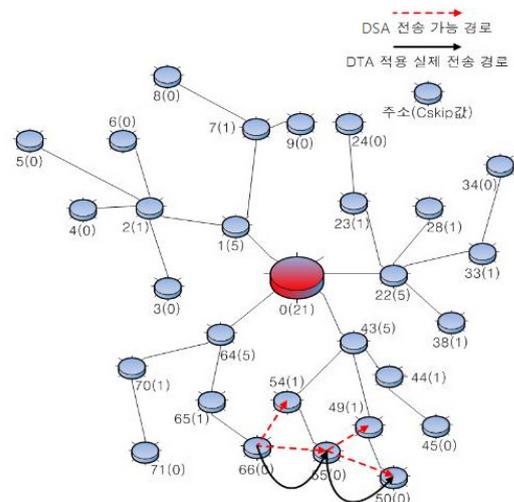


그림 6. 전송 경로 감소 알고리즘의 예

IV. 성능 검증

본 논문에서 제시한 알고리즘의 성능 검증은 tree 라우팅과 비교하여 진행하였다. 또한 $Cm=4, Rm=4, Lm=4$ 인 네트워크 환경의 노드 개수 30, 50, 70, 90인 네트워크에서 진행하였다. 각 네트워크당 소스 노드와 목적지 노드를 랜덤하게 선택하여 총 100,000번을 반복 전체 데이터가 전송된 경로의 홉수의 평균값을 산출하는 방법으로 진행하였다.

4.1 중간 경로 감소 알고리즘과 tree 라우팅 성능 비교 분석

본 논문에서 제안한 중간 경로 감소 알고리즘과 tree 라우팅의 성능을 비교 분석하였다.

그림 7에서 볼 수 있듯이 tree 라우팅 방식은 노드의 수가 증가 할수록 홉 카운트가 꾸준히 증가한다. 반면 전송 경로 감소 알고리즘은 노드의 수가 각각 30개, 50개, 70개, 90개일 때 각각 25.88%, 20.8%, 12.64%, 17.82%의 tree 라우팅 대비 성능향상을 보였다. 여기서 노드가 70개일 때 보다 90개일 때 성능이 더 개선된 것을 볼 수 있다. 이는 네트워크 크기에 따른 전송 경로 알고리즘의 효율이 달라지는 것을 말한다. 이를 해결하기 위해 네트워크의 크기에 따른 최적의 threshold depth 값을 시뮬레이션을 통하여 얻을 수 있다.

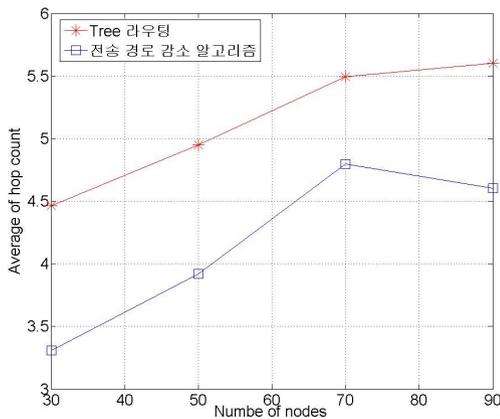


그림 7. Tree 라우팅과 전송 경로 감소 알고리즘 성능 비교 분석

4.2 Threshold depth 값에 따른 성능 분석

네트워크 크기에 따른 threshold 값을 측정하기 위하여 여러 가지 threshold depth를 설정하여 시뮬레이션을 진행하였다. 전송 경로 알고리즘은 네트워크의 규모에 따라 성능차이가 발생하기 때문에 네트워크 특성에 따라 threshold depth 값을 설정하여 알고리즘의 성능을 최적화해야 한다. 그림 8은 각 네트워크 별로 threshold depth 값을 다르게 설정해 시뮬레이션한 결과이다. 30개 네트워크는 threshold depth 값이 4일 때 가장 좋은 성능을 나타낸다. 즉 L_m 이 4이기 때문에 DTA가 모든 네트워크에 적용된다. 따라서 30개 노드 이하에서는 소스 노드에서 데이터를 전송할 때부터 DTA를 적용시켜 데이터를 전송함으로써 효율성을 극대화시킬 수 있다. 또한 90개 네트워크는 threshold depth가 2일 때 가장 좋은 성능을 보인다. 만약 90개의 네트워크에서 threshold depth 값을 4로 설정한다면 출발지 도착지의 depth가 모두 4일 때는 end device만을 따라

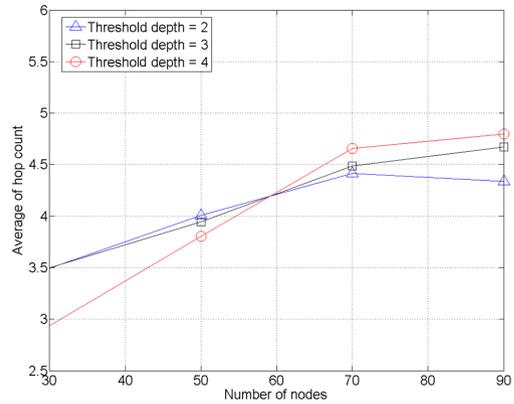


그림 8. Threshold depth값에 따른 성능 분석

서 데이터가 전송된다. 네트워크의 크기가 클수록 end device의 거리는 멀어지기 때문에 상위 depth에서 DTA를 적용시키는 것이 효율적이다.

4.3 DTA 알고리즘 사용 횟수에 따른 성능 분석

네트워크의 크기에 따른 threshold depth값에 의하여 DTA가 사용되는 횟수는 다르게 나타난다. 이번 시뮬레이션 결과는 소스 노드에서 데이터 전송이 시작되어 목적지 노드까지 전송이 완료될 시점까지를 기준으로 DTA 알고리즘의 실행 횟수를 나타낸다.

그림 9는 소스 노드에서 목적지 노드까지 데이터 전송이 성공한 경우에 DTA의 실행 횟수의 평균을 나타낸 그림이다. 네트워크가 크고 threshold depth의 크기가 클수록 급격하게 DTA의 실행 횟수가 많아지는 것을 볼 수 있다. 이는 오히려 비효율적인 DTA가 발생해 알고리즘 성능을 악화시킨 결과이다.

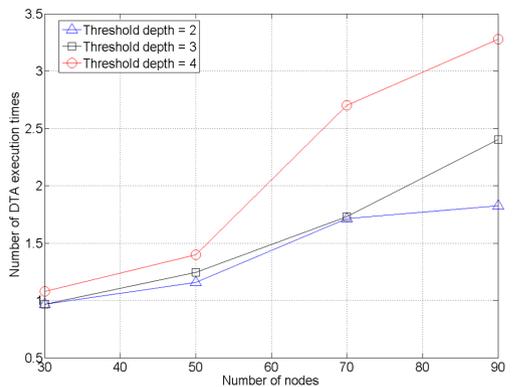


그림 9. Threshold depth와 네트워크 크기에 따른 DTA 실행 횟수 분석

그림 10은 기존의 tree 라우팅 알고리즘과 본 논문에서 제안한 전송 경로 감소 알고리즘을 비교했을 때의 효율을 나타낸 것이다. 살펴보면 30개인 네트워크에서는 threshold depth가 4일 때 최적의 효율을 나타내었다. 따라서 작은 네트워크 일수록 threshold depth값을 Lm 값과 동일하게 설정해주면 최적의 효율을 나타낸다. 하지만 네트워크가 커질수록 threshold depth가 작아지는 것이 효율적인 측면에서 더 높게 나타났다. 이는 네트워크가 큰 경우 DTA 실행이 많아진다면 오히려 데이터 전송에 비효율적으로 작용하기 때문에 threshold depth를 조절하여 일정 depth이하에서만 DTA를 실행하도록 전송 경로 알고리즘을 제시하였다.

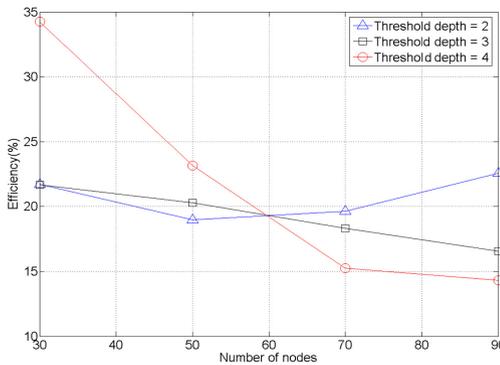


그림 10. Threshold depth와 네트워크 크기에 따른 효율적인 면의 성능 분석

V. 결 론

본 논문에서는 ZigBee 네트워크에서 기존 tree 라우팅의 단점을 보완하는 새로운 전송 경로 감소 알고리즘을 제안하였다. 기존 tree 라우팅 알고리즘은 간단한 수식만을 사용하여 라우팅을 한다는 장점이 있지만 오로지 자식과 부모 노드 사이끼리만 데이터 전송이 발생하는 비효율적인 데이터 전송이 빈번하게 일어났다.

본 논문에서 제안하는 전송 경로 감소 알고리즘은 DSA와 DTA로 구성되어있다. DSA 알고리즘은 부모 자식 노드가 아닌 네이버 테이블에 있는 노드들 중 목적지 노드에 근접한 노드들을 전송 가능 노드로 선택한다. 이런 전송 가능 노드들 중 DTA를 사용하여 해당 노드의 depth에 따라서 가장 효율적인 전송 경로를 선택한다. 시뮬레이션 결과로부터 노드가 30개일 때 전송 경로 알고리즘은 25.88%, 50개일 때 20.8%, 70개일 때 12.64%, 90

개일 경우 17.82%의 성능 향상을 보이는 것을 확인하였다.

본 논문에서는 Rm , Cm , Lm 이 일정한 네트워크에서 시뮬레이션을 진행하였다. 향후 다양한 네트워크에서 시뮬레이션을 진행하고 다양한 시뮬레이션을 바탕으로 효율적인 threshold depth값을 설정하여 현재의 알고리즘보다 효율적인 전송 경로 감소 알고리즘의 연구를 수행할 것이다. 또한 네이버 테이블을 수집하고 유지하는 비용에 대해서는 본 논문에서는 고려되지 않았기 때문에 이에 대한 연구 또한 향후 과제에 포함시킬 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] ZigBee Alliance, ZigBee-2006 Specification: ZigBee Document 053474r06, Version 1.0, Dec. 2004
- [2] ZigBee Alliance, ZigBee-2006 Specification: ZigBee Document 053474r13, Dec. 2006
- [3] ZigBee Alliance, ZigBee-2007 Specification: ZigBee Document 053474r17, Jan. 2007
- [4] 최훈, 백윤주, “무선 센서 네트워크에서 중첩 방식을 고려한 효율적인 클러스터링 기법,” 한국통신학회논문지, 33(5), pp. 253-259, 2008.
- [5] 이유진, 안순신, “지그비 센서 네트워크에서의 에너지 효율적 라우팅을 고려한 비콘 전송 스케줄링 기법,” 한국정보과학회논문지, 33(2), pp. 625-630, May 2008.
- [6] K. Khamforoosh and H. Khamforoush, “A New Routing Algorithm for Energy Reduction in Wireless Sensor Networks,” *IEEE*, pp. 505-509, 2009.
- [7] K. T. Kim and H. Y. Youn, “An Energy Efficient Routing Protocol in Wireless Sensor Networks,” *IEEE Computer Society*, pp. 132-139, 2009.
- [8] T. Kim and D. Kim, “Shortcut Tree Routing in ZigBee Networks,” *Int. Symposium on Wireless Percasive Computing*, Feb. 2007.
- [9] D. W. Seo, D. S. Yun, and S. H. Cho, “A Network Performance Improvement for One-to-One and Many-to-One Communication Environment in ZigBee,” *Internet Magazine ElectroScop*, Nov. 2007
- [10] 김두현, 조성호, “Zigbee 네트워크에서 이동성

