

ZigBee 네트워크에서 효율적인 단축 경로 검색 알고리즘

정회원 김 두 현*, 종신회원 조 성 호*

An Efficient Search Algorithm for Shorten Routing Path in ZigBee Networks

Doohyun Kim*, *Regular Member*, Sung Ho Cho* *Ligelong Member*

요 약

본 논문은 ZigBee 네트워크에서 사용되는 기존 트리 라우팅 보다 더 적은 전달 홉수(Hop count)를 갖는 향상된 라우팅 알고리즘을 제안한다. 이 향상된 라우팅 알고리즘은 네트워크의 전체적인 트래픽을 줄여 노드의 에너지 소모를 감소시킨다. 이로 인하여 한정된 에너지를 갖는 노드로 구성된 센서 네트워크가 더 오랜 시간 유지될 수 있다. 본 논문에서 제안되는 라우팅 알고리즘은 라우팅 경로가 upstream인 경우와 downstream인 경우로 분리하여 각각 제시되며, 노드가 라우팅 경로 선택 시 부모노드 및 자식노드의 정보뿐만 아니라 이웃 테이블의 정보를 이용하여 적절한 다음 노드를 결정한다. 시뮬레이션에서는 네트워크의 종류, 네트워크의 구성 노드 개수, 각 노드가 갖는 이웃노드의 개수를 다양하게 변화시키면서 성능향상을 관찰하였다. 시뮬레이션 결과로 upstream 알고리즘과 downstream 알고리즘을 각각 적용 하였을 때 기존 라우팅 알고리즘과 성능을 비교하고, 두 가지의 알고리즘을 동시에 적용한 경우에 대한 성능평가를 수행한다.

Key Words : ZigBee Network, Tree Routing, WPAN, USN, WSN

ABSTRACT

In this paper, we suggest an efficient path searching algorithm that reduces the hop count when each node sends a data in ZigBee networks. As the hop count reduces, the network traffic is also reduces and leads to less energy consumption. This enables the sensor network live longer with limited node power. The proposed path searching algorithm consists of two sub-algorithms. One for upstream process and the other for downstream process. When a node selects its proper routing path, the node not only uses the information of the parent and child node, but it also uses the neighbor nodes for each node. In the simulation, we changed various network environment factors such as network parameters, number of nodes, and number of neighbor nodes and observed their performances. We compare the performance to the previous ZigBee Tree routing algorithm with separate two algorithms, the upstream and the downstream, and then compare the performance when all two algorithms are applied.

1. 서 론

무선 센서 네트워크를 위한 통신 프로토콜로서 ZigBee는 저전력, 저가격, 저속도의 조건을 만족시

키며, IEEE 802.15.4^[1]을 기반으로 구성된 프로토콜이다. PHY, MAC 계층은 IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 하고 상위 계층인 Network, APL 계층은 ZigBee Specification^[2]에 정의되어 있다. ZigBee는

※ 본 연구는 지식경제부 R&D 지원 프로그램의 일환으로, 한국산업기술평가관리원의 지원으로 수행되었음.

* 한양대학교 전자컴퓨터통신 공학부(dhkim@casp.hanyang.ac.kr, dragon@hanyang.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-09-442, 접수일자 : 2009년 11월 9일, 최종논문접수일자 : 2009년 11월 20일

기본적으로 Tree topology, Mesh topology를 지원하며, 각각의 topology에 맞는 AODV, ADOVjr^[3], Tree routing 등의 라우팅 프로토콜을 지원한다^[4].

네트워크의 특성상 센서 노드들은 배터리로 동작되기 때문에 가능한 에너지를 적게 소모하여 네트워크를 장시간 지속시키는 것이 중요하다. 따라서 센서 네트워크에서 주된 연구 분야로는 MAC 계층, 또는 Network 계층에서 트래픽을 줄여 에너지소모를 감소시키는 방법이 많이 연구되고 있다. M. Johvakka와 M. Kuorilehto는 IEEE 802.15.4 기반에서 cluster-tree 구조를 사용할 때 에너지 소모에 대한 모의실험결과를 보여준다^[5]. 또한 Network 계층에 관련하여 라우팅 경로를 줄이기 위한 방법으로 노드가 가진 이웃테이블을 이용한 다양한 라우팅 방법이 연구되고 있다^[6-18].

이웃테이블을 이용하여 라우팅 경로를 결정하는 방법으로, X. Li와 K. Fang는 데이터를 전송해야 하는 노드가 다음 전송노드 결정시 단순히 이웃 노드중에 목적지가 있는지를 검사하여 해당되는 노드가 있으면 해당 노드로 전송하는 방법을 제시하였다^[6]. 또한 자신의 모든 이웃노드와 목적지 노드간의 전달 흡수를 계산하여 목적지 까지 가장 적은 흡수를 갖는 노드로 데이터를 전달하는 방법이나^[7] 목적지가 이웃노드의 자식노드인지 판단하여 목적지를 자식으로 갖는 노드가 있으면 해당 노드로 데이터를 전달하는 라우팅 방법이 제시되었다^[8]. 이런 방법들은 데이터 전송 시에 소스노드에서 목적지 노드까지 전달 흡수를 감소시켜 트래픽 감소로 인한 에너지 감소 효과를 가져온다. 이밖에 ZigBee Mesh 네트워크에서 cluster를 이용하여 효율적으로 오버헤드와 전송 딜레이를 감소시키는 방법도 연구되고 있다^[9].

본 논문에서는 노드가 데이터 전송 시 기존 Tree routing 방법보다 더 짧은 전달경로를 검색하는 단축 경로검색 알고리즘에 대하여 설명한다. 기본적으로 ZigBee 네트워크를 구성할 때 사용되는 분산주소할당방법(Distributed Address Assignment Mechanism)을 사용하고 이웃테이블 정보를 이용하여 소스노드에서 목적지노드까지 더 적은 흡수를 갖는 전달경로를 생성한다.

자세한 알고리즘 설명에 앞서 본 논문에서 제안된 단축 경로 알고리즘을 편의상 Enhanced Tree Routing(ETR)으로 표기한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는

ZigBee의 분산주소 할당 방법과 기본적인 Tree routing에 대하여 소개한다. III장에서는 기존 라우팅 방법보다 향상된 성능을 갖는 ETR에 대해서 설명하고 IV장에서는 네트워크 환경변수를 다양하게 변화시키면서 시뮬레이션 및 성능을 평가한다. 마지막으로 V장에서는 시뮬레이션 결과를 분석하여 결론을 내린다.

II. ZigBee Network Layer

ZigBee 네트워크에서 노드는 라우팅 기능을 갖는 coordinator, router와 라우팅 기능을 갖지 않는 end device로 구분된다. coordinator는 routing 기능뿐만 아니라 네트워크를 시작하는 역할을 한다. router는 라우팅 기능을 가지고 있기 때문에 중간노드로서 역할을 하며 하위에 자식노드를 가질 수 있다. 반면 end device는 라우팅 기능을 갖지 않기 때문에 하위에 자식노드를 가질 수 없고 sleep 모드를 이용하여 에너지 소모를 감소시키는 기능을 갖는다.

2.1 분산주소할당 기법 (Distributed Address Assignment mechanism)

ZigBee의 계층적 구조에서는 coordinator가 새로운 네트워크의 시작을 알리고 주위의 노드가 접속을 요청하면서 네트워크가 형성된다. coordinator와 router는 네트워크에 참여하기 위해 자신에게 접속을 요청하는 새로운 노드에게 16비트 주소를 할당하며, 이 주소는 네트워크 내에서 라우팅을 위한 유일한 주소가 된다. 자식에게 주소 할당이 가능한 coordinator나 router는 자신의 네트워크 깊이에 따라 할당 가능한 주소범위를 갖게 되는데, 그 주소범위는 수식(1)에 의해서 계산된다^[2].

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

여기서 $Cskip(d)$ 은 해당 노드가 할당할 수 있는 노드의 주소범위를 나타낸다. d 는 해당노드의 네트워크 깊이(depth)를 나타내며 C_m 은 노드가 가질 수 있는 노드의 개수, R_m 은 노드가 가질 수 있는 최대 라우터의 개수, 그리고 L_m 은 네트워크가 가질 수 있는 최대 깊이를 나타낸다. 새로운 노드의 접속을 수락한 부모노드는 새로운 노드에게 수식(2)에 따라서 주소를 할당한다^[2].

$$A_n = A_{parent} + Cskip(d) \times m + 1 \quad (2)$$

A_n 은 새로운 노드에게 부여할 주소이고 A_{parent} 은 주소를 할당하는 부모의 주소이다. m 은 현재 부모노드가 가지고 있는 router의 개수를 나타낸다.

2.2 ZigBee Tree Routing 알고리즘

계층적 구조를 갖는 ZigBee 네트워크는 Tree routing 알고리즘을 통하여 다음 라우팅 경로를 결정한다. Routing table을 사용하지 않는다고 할 때 기본적인 Tree routing 방법을 간단히 설명하면 그림 1과 같다.

노드는 데이터를 수신하면 자신이 목적지인지 확인한다. 자신이 목적지인 경우 수신한 데이터를 상위 계층으로 보내고 아니면 목적지가 자신의 자식노드인지 수식(3)을 통해서 계산한다. 이때 자신의 자식노드가 맞으면 수식(4)를 통하여 데이터를 전달할 다음 노드를 선택하고, 자식노드가 아니면 데이터를 전달할 다음 노드를 부모노드로 선택한다^[2].

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

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

수식(3),(4)에서 Add 는 자신의 노드주소, d 는 자신의 네트워크 깊이, D 는 목적지 주소를 나타낸다. 수식(4)에서 N 은 다음경로가 될 자식노드의 주소를 나타낸다.

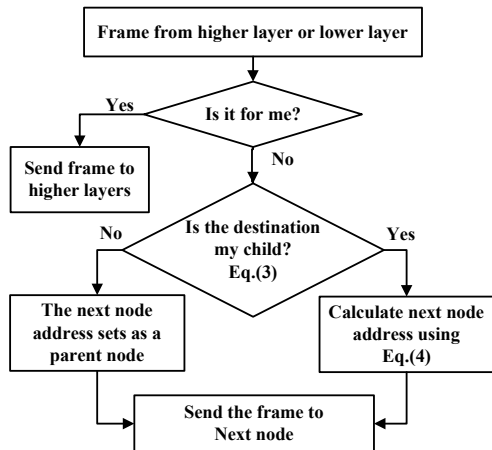


그림 1. ZigBee Tree routing 경로결정 흐름도

III. 단축 경로 검색기법

여기서는 2절에서 설명된 기본적인 ZigBee Tree routing에 기반 한 단축 경로 검색 기법(ETR)을 소개한다. 이 향상된 라우팅 알고리즘은 소스노드에서 목적지노드까지 더 적은 홉수 갖도록 경로를 설정한다. 기본적인 라우팅 경로 결정 방법은 그림 1과 유사하다, 각 노드가 지닌 이웃노드 테이블을 이용하여 부모노드, 자식노드, 이웃노드중에 가장 적합한 노드를 다음 노드로 설정한다.

또한 coordinator에서 멀어지는 방향으로 전달되는 경로를 downstream이라 정의하고 coordinator로 가까워지는 방향으로 전달되는 경로를 upstream이라고 정의 할 때 두 가지 상황에 따라 다른 알고리즘을 적용한다.

기본적인 라우팅 결정 흐름도는 그림 2와 같다. 먼저 데이터를 수신한 노드는 자신이 목적지인지 판단한다. 자신이 목적지가 아니면 이웃노드중에 목적지가 있는지를 판단하여 있으면 해당 이웃노드로 전달한다^[6]. 이웃노드중에 목적지가 없는 경우 목적지가 자신의 자식인지 수식(3)을 통해 계산한다. 이때 목적지 노드가 자신의 자식인 경우에는 Enhanced Downstream Routing(EDR) 알고리즘을 이용하여 다음노드를 결정하고, 목적지가 자기 자식이 아닌 경우에는 Enhanced Upstream Routing(EUR)을 사

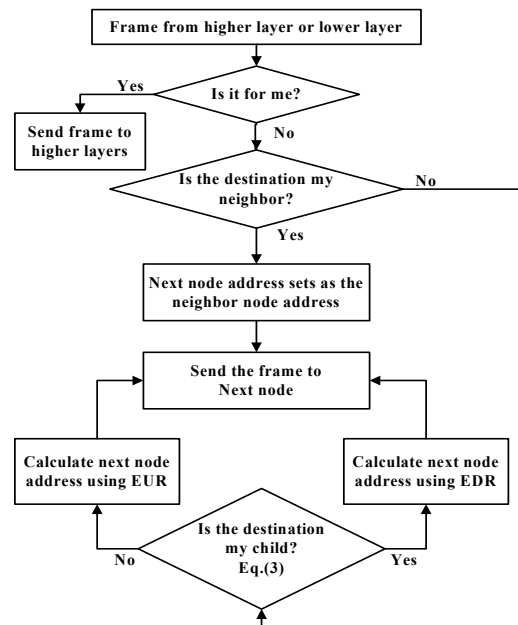


그림 2. 향상된 Tree routing을 위한 경로결정 흐름도

용하여 다음 노드를 결정한다.

3.1 Enhanced Upstream Routing(EUR)

EUR은 데이터의 목적지가 자신의 자식노드가 아닐 경우 그림 3의 흐름도에 따라 다음 노드를 결정한다.

먼저 목적지가 속한 줄기의 가장 상위노드(coordinator와 가장 근접한 노드)를 수식(5)를 이용하여 계산한다^[10]. 그 다음으로 수식(6)을 이용하여 수식(5)를 통하여 구해진 노드의 주소와 이웃노드들간의 연관성을 확인한다^[10].

$$FirsrtAdd = (Cskip(0) \times \lfloor D / Cskip(0) \rfloor) + 1 \quad (5)$$

$$FirsrtAdd \leq NAdd < FirstAdd + Cskip(0) \quad (6)$$

수식(5)에서 *FirstAdd*는 목적지노드가 속한 줄기의 첫 번째 노드를 나타낸다. 수식(6)의 *NAdd*는 자신이 가진 이웃노드의 주소, *D*는 목적지 주소를 나타낸다.

수식(6)을 만족하는 이웃노드가 존재하는 경우 해당 이웃노드는 목적지와 연관이 있다고 판단한다. 연관 있는 노드가 없을 경우 부모노드와 이웃노드 중에 가장 작은 네트워크 깊이를 갖는 노드를 선택

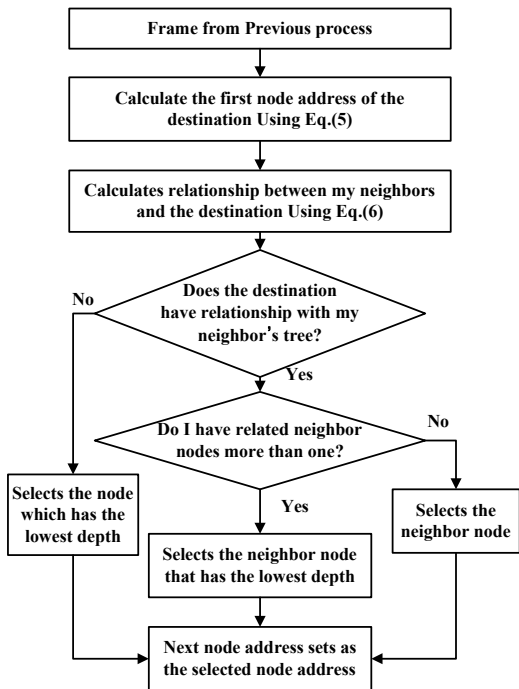


그림 3. Enhanced Upstream Routing(EUR)을 통한 경로결정 흐름도

한다. 연관 있는 노드가 한 개일 경우 해당노드를 다음 노드로 선택하고 두 개 이상일 경우 해당 노드중 가장 작은 네트워크 깊이를 갖는 노드를 다음 노드로 선택한다.

전체 흐름도를 요약하면, EUR 경로선택 방법은 목적지와 같은 줄기를 갖는 이웃노드를 찾고 같은 줄기를 갖는 노드가 없을 경우, coordinator에 가장 가까운 노드를 선택하는 알고리즘이다.

3.2 Enhanced Downstream Routing(EDR)

EDR은 데이터의 목적지가 자신의 자식노드일 경우 그림 4의 흐름도에 따라 다음 노드를 결정한다.

수식(7),(8)은 목적지까지의 경로를 미리 얻기 위해 ZigBee 기본 수식인 수식(4)^[2]를 기반으로 변형한 수식이다.

먼저 수식(7),(8)을 이용하여 목적지까지의 경로를 계산한 후 계산된 경로에 해당되는 이웃노드가 있는지를 확인한다. 이때 해당되는 노드가 없으면 *Path(1)*노드를 선택하고, 해당되는 노드가 한 개이면 그 노드를 다음 목적지로 선택한다. 경로에 해당되는 노드가 두 개 이상일 경우 가장 큰 네트워크 깊이를 갖는 노드를 선택한다.

$$Path\{ \} = \sum_{l=1}^{L_m-d} Path(l) \quad (7)$$

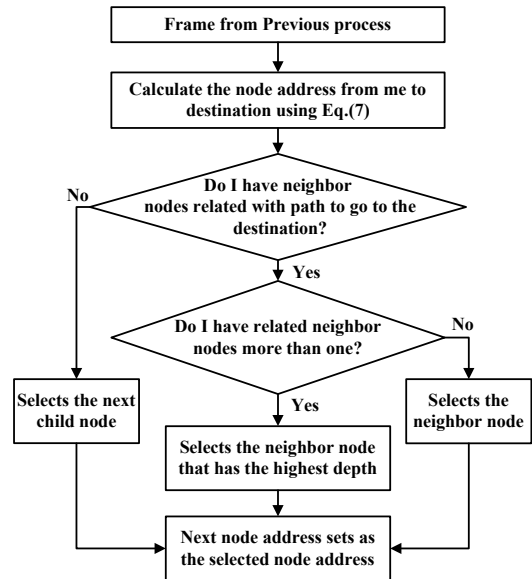


그림 4. Enhanced Downstream Routing(EDR)을 통한 경로결정 흐름도

$$Path(l) = \left\lfloor \frac{D - (Path(l-1) + 1)}{Cskip(d+l)} \right\rfloor \times Cskip(d+l) + Path(l-1) + 1 \quad (8)$$

Where, $Path(0) = Add$

수식(7),(8)에서 $Path\{l\}$ 는 해당 노드부터 목적지까지의 경로를 나타내는 집합이다. $Path(0)$ 는 자신의 주소를 나타내며 $Path(1), Path(2), \dots$ 는 해당 노드로부터 목적지까지의 경로 상에 있는 노드의 주소를 차례대로 나타낸다. 수식(8)에서 Add 는 자신의 주소를 나타낸다.

전체 흐름도를 요약하면 EDR 경로선택 방법은 목적지가 자신의 자식인 경우 목적지까지의 경로를 계산하여 자신의 이웃노드중에 목적지와 가장 근접한 노드를 선택하는 알고리즘이다.

IV. 시뮬레이션 결과

이 장에서는 기본적인 ZigBee Tree routing(ZTR)과 3장에서 설명한 ETR을 비교하여 성능을 분석한다. 시뮬레이션 환경으로는 네트워크 파라미터가 $Cm=4, Rm=4, Lm=4$ 인 네트워크와 $Cm=4, Rm=4, Lm=6$ 인 두 개의 네트워크를 사용한다. Lm 값만 다른 네트워크를 사용한 이유는 각 알고리즘에 대하여 네트워크 깊이에 따른 성능비교를 하기 위함이다. 노드의수는 30, 50, 70, 90, 110개를 사용하였고 각 네트워크당 랜덤하게 소스노드와 목적지노드를 선택하는 방법으로 10만 번의 트래픽을 발생시켰다. 중간에 전송 실패로 오류가 발생하지 않는다고 가정하며, 평균값을 통하여 성능을 비교한다. 또한 각 노드의 이웃노드가 3개에서 5까지 증가한다고 할 때 저장 메모리 공간은 크게 차이나지 않으므로 이웃노드 수 증가에 따른 비용은 무시한다.

4.1 ZTR와 ETR 성능분석

이 절에서는 ZTR과 ETR의 성능을 분석한다. 각 노드는 5개의 이웃노드를 갖으며 $Lm=4$ 일 때와 $Lm=6$ 일 때 ETR의 성능향상을 그림 5를 통하여 관찰한다. 단, 모든 절에서 언급하는 이웃노드의 개수는 부모노드와 직계 자식노드를 제외한 순수 이웃노드를 말한다.

같은 노드수로 구성된 네트워크라도 Lm 값이 커질수록 더 많은 트래픽이 발생한다. ETR의 성능은 $Lm=4$ 인 경우, 노드수가 30개일 때 ZTR보다 38.63% 향상된 성능을 보이고 $Lm=6$ 인 경우에도

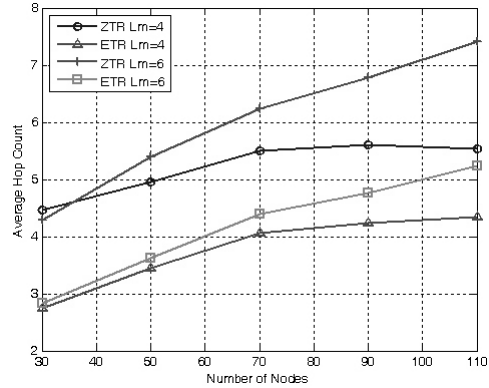


그림 5. $Lm=4, Lm=6$ 인 네트워크에서 ZTR과 ETR비교

34.12%로 비슷한 성능 향상을 보인다. 또한 노드수가 110개인 경우, $Lm=4$ 일 때는 21.65%, $Lm=6$ 일 때에는 29.24%의 성능향상을 보였다. $Lm=4$ 인 경우에는 노드수가 30개에서 110개로 증가함에 따라 ETR의 성능이 16.98% 효율차이가 발생하지만 $Lm=6$ 인 경우에는 4.88%의 효율차이만 발생한다.

위 결과로 미루어 볼 때 네트워크의 노드수가 많아질수록 ETR의 성능이 점차적으로 떨어진다는 것을 알 수 있으며, 네트워크의 깊이가 깊을수록 노드수의 증가에 따른 효율 차이가 작기 때문에 깊이가 깊은 네트워크일수록 ETR이 더 효율적으로 동작함을 알 수 있다.

4.2 이웃노드수에 따른 ETR 성능분석

ETR은 이웃노드를 이용하여 라우팅 경로를 설정하기 때문에 각각의 노드가 갖는 이웃노드의 개수에 따라서 성능이 변화한다. 따라서 이 절에서는 이웃노드 개수에 따른 성능차이를 분석한다.

그림 6은 $Lm=4$ 일 때 이웃노드에 따른 ETR의

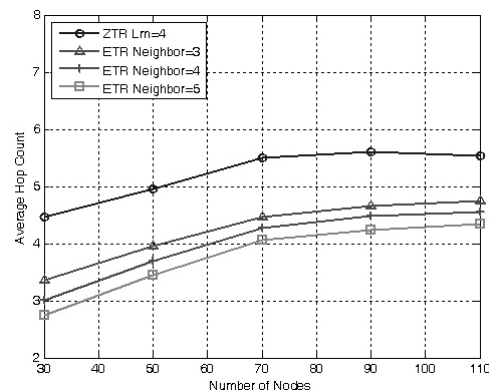


그림 6. 이웃노드수에 따른 ETR 성능($Cm=4, Rm=4, Lm=4$)

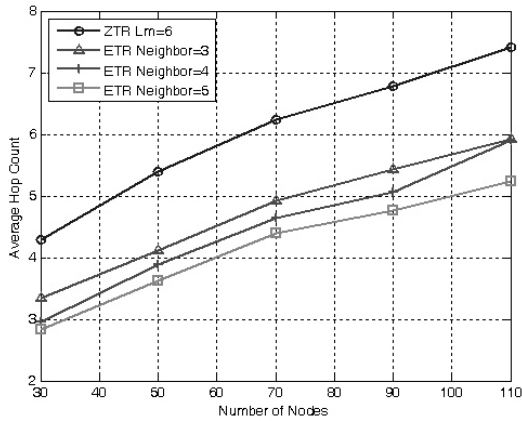


그림 7. 이웃노드수에 따른 ETR 성능(Cm=4, Rm=4, Lm=6)

성능 차이이며, 그림 7은 $Lm=6$ 인 네트워크에서 이웃노드 개수에 따른 성능차이이다. $Lm=4$ 인 네트워크에서 노드가 90개이고, 이웃노드개수가 각각 3, 4, 5 일 때 ETR의 성능은 16.70%, 20.04%, 24.21%로 나타난다. $Lm=6$ 인 네트워크에서 노드가 90개이고, 이웃노드개수가 각각 3, 4, 5 일 때 ETR의 성능은 20.05%, 25.30%, 29.73%로 나타난다.

위의 결과로 볼 때 네트워크 파라미터인 Lm 과는 상관없이 각 노드가 갖는 이웃노드의 개수가 한 개씩 늘어날 때마다 ETR 알고리즘의 성능이 약 4% 정도 향상된다는 것을 알 수 있다.

4.3 ETR, EDR, EUR 알고리즘 비교

ETR은 EDR과 EUR을 동시에 적용한 라우팅 알고리즘이다. 이 절에서는 각각의 알고리즘의 성능을 평가하고 네트워크 파라미터인 Lm 의 변화와 이웃노드 개수에 따른 성능변화를 관찰한다. 그림 8은

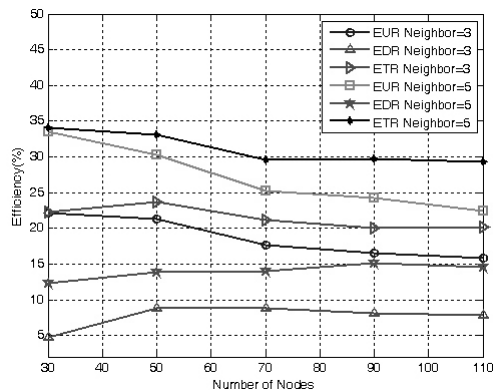


그림 8. 이웃노드수에 따른 ETR, EUR, EDR 성능 (Cm=4, Rm=4, Lm=6)

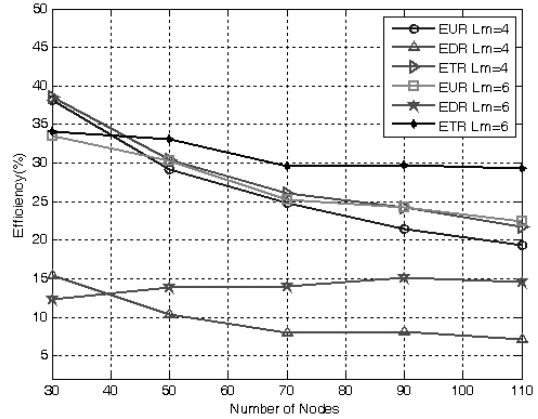


그림 9. 네트워크 최대깊이(Lm)에 따른 ETR, EUR, EDR 성능

$Lm=6$ 인 네트워크에서 이웃노드 개수에 따른 각 라우팅 알고리즘의 효율(%)을 보여준다. EUR과 ETR은 네트워크 구성 노드수가 30개 일 때는 거의 차이가 없으나 노드수가 증가함에 따라 효율 차이가 점점 커지기 시작한다. 반면 EDR은 노드수가 증가할수록 효율이 높아지거나 유지되는 경향을 보인다.

그림 9에서는 이웃노드의 수가 5개 일 때 Lm 값에 대한 각 라우팅 알고리즘의 효율(%)을 보여준다. $Lm=4$ 인 경우에는 ETR, EUR은 비슷한 효율을 보이며, 네트워크 구성 노드수의 증가에 따라 효율이 감소한다. 반면 $Lm=6$ 인 경우에, ETR은 네트워크 구성 노드수의 증가에 따라 점점 감소하다가 70개 이상부터는 일정 값을 유지하며, EUR은 노드수 증가에 따라 지속적으로 효율이 감소한다. EUR의 효율이 네트워크 구성 노드수 증가에 따라 감소하는데도 ETR이 일정 비율을 유지할 수 있는 이유는 EDR의 효율이 노드수 증가에 따라 증가하기 때문이다.

V. 결론

본 논문에서는 ZigBee 네트워크에서 더 적은 전달 홉수를 갖도록 경로를 찾는 단축 경로 검색(ETR) 알고리즘을 제안하였다. ETR 알고리즘은 EDU 알고리즘과 EUR 알고리즘으로 구성되며 두 라우팅 알고리즘은 각각 네트워크 환경요소에 따라 다른 성능을 나타냄을 검증하였다.

먼저 EUR 알고리즘은 노드수가 적을 때 ETR 알고리즘과 비슷한 성능을 보인다. 하지만 노드수의 증가에 따라 점점 성능 향상 폭이 감소됨을 알 수 있다. 반면 EDR 알고리즘은 전체적인 성능이 EUR 보다는 낮으나 노드수가 증가함에 따라 성능이 향

상되며, 네트워크의 깊이가 깊을수록 큰 성능을 발휘하는 장점을 갖는다. 따라서 이 두 가지 알고리즘이 통합적으로 사용되는 ETR 알고리즘은 노드수의 증가에 따라 상호 보완적으로 동작하며 전체적으로 20%~30%의 성능향상을 나타낸다.

ETR 알고리즘은 이웃노드를 이용하는 라우팅 알고리즘이기 때문에 각각의 노드가 가질 수 있는 이웃노드의 개수가 성능향상에 가장 큰 영향을 미치는 요소로 작용한다. 이를 뒷받침하는 시뮬레이션 결과로, 각 노드들의 갖는 이웃노드의 개수가 한 개씩 증가할 때 마다 약 4%의 성능차이가 난다는 것을 이미 앞 장에서 증명하였다.

ETR 알고리즘은 ZigBee 네트워크의 기본적인 라우팅 알고리즘과 기존에 존재하는 이웃노드 테이블을 기반으로 하여 사용되기 때문에 알고리즘 적용에 대한 추가적인 비용이 적다. 또한 소스노드로부터 목적지까지 짧은 전달경로를 갖기 때문에 네트워크의 전체적인 트래픽 감소와 이를 통한 노드의 에너지 감소 효과도 기대할 수 있다.

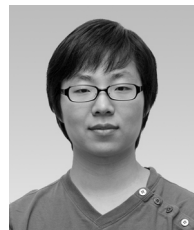
참 고 문 헌

- [1] "Wireless Medium Access Control and Physical Layer Specifications of Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)," IEEE Std 802.15.4-2003, IEEE Computer Society, 01 Oct., 2003.
- [2] ZigBee Alliance, ZigBee-2007 Specification: ZigBee Document 053474r17, Jan., 2008.
- [3] Iand D. Chakeres, Lukr Klein-Berndt, "AODVjr, AODV Simplified," *Mobile Computing and Communications Review*, Vol.6, No.3, pp.100-101, July, 2002.
- [4] J. sun, Z. Wang, and H. Wang, "Research on Routing Protocols Based on ZigBee Network," *3th Int. conf. on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, Vol.1, pp.639-642, Nov., 2007.
- [5] M. Kohvakka, M. Kuorilehto, M. Hänniäinen, and T. D. Hämäläinen, "Performance Analysis of IEEE 802.15.4 and ZigBee for Large-Scale Wireless Sensor Network Applications," *Int. Workshop on Modeling Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, pp.48-57, 2006.

- [6] X. Li, K. Fang, and J. Gu, "An Improved ZigBee Routing Strategy for Monitoring System," *The 1st Int. Workshop Intelligent Networks and Intelligent Systems*, pp.255-258, Nov., 2008.
- [7] T. kim and D. kim, "Shortcut Tree Routing in ZigBee Networks," *Int. Symposium on Wireless Pervasive Computing*, Feb., 2007.
- [8] 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.
- [9] K. K. Lee, S. H. Kim, and H. S. Park, "Cluster Label-based ZigBee Routing Protocol with High Scalability," *The 2nd Int. Conf. Services Computing*, pp.400-404, Dec., 2006.
- [10] D. H. Kim, S. H. Cho, "An Efficient Tree Routing Method in ZigBee Network Using a Mobile Nodes," *The 21st Signal Processing Conference*, Kwangwoon Univ., Seoul, Sep., 2008.

김 두 현 (Doohyun Kim)

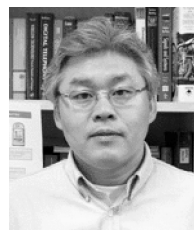
정회원



2008년 2월 경기대학교 전자공학과 학사
 2008년 3월~현재 한양대학교 전자컴퓨터통신 공학과 석사과정
 <관심분야> WPAN, ZigBee 네트워크

조 성 호 (Sung Ho Cho)

종신회원



1978년 2월 한양대학교 전자공학과 (공학사)
 1984년 12월 Univ. of Iowa 전자컴퓨터학과 (공학석사)
 1989년 8월 Univ. of Utah 전자컴퓨터공학과 (공학박사)
 1989년 8월~1992년 8월 한국

전자통신연구원 선임연구원
 1992년 9월~현재 한양대학교 제 2공과대학 전자통신공학부 교수
 <관심분야> RFID/USN, 임베디드 무선통신 시스템 설계, 통신신호처리