

대규모 무선 센서 네트워크를 위한 계층적 클러스터 트리 기반 분산 주소 할당 기법

정희원 박종준*, 정 훈*, 황소영*, 주성순*

A Hierarchical Cluster Tree Based Address Assignment Method for Large and Scalable Wireless Sensor Networks

Jongjun Park*, Hoon Jeong*, Soyoung Hwang*, Seong-Soon Joo* *Regular Members*

요 약

현재 무선 센서 네트워크의 주소 할당 기법들은 수백 개 이상의 노드로 구성된 대규모 센서 네트워크를 지원함에 있어 한계를 갖고 있다. WSNs 관련 대표적인 표준화 단체인 ZigBee Alliance에서는 균형 트리 기반의 주소 영역을 구성한 후, 트리 구조에 맞추어 네트워크의 주소를 할당하는 분산 주소 할당 기법이 제시되었다. 하지만 일반적으로 실제 배치된 네트워크는 균형 트리 구조를 갖지 않으며 이로 인해 주소의 낭비 및 고갈이 발생한다. 본 논문에서는 이러한 단점을 해결하기 위해 다수의 균형 트리를 동적으로 구성하는 계층적 클러스터 트리 기반 분산 주소 할당 기법을 제시한다. 제안된 방안에서는 16-bit 주소 영역을 클러스터 식별자 영역과 클러스터 내 주소 영역으로 구분하여 각 클러스터 내부에서는 균형 트리 기반 분산 주소 할당 기법을 사용하고, 주소 고갈 발생 시에는 동적으로 새로운 클러스터를 형성하여 주소를 할당한다. 시뮬레이션을 통한 성능 분석에서는 제안된 프로토콜이 기존의 기법보다 주소 사용의 효율 및 고아 노드 발생 부분에서 향상된 결과를 보여준다.

Key Words : Wireless, Sensor, Network, Address Assignment, Hierarchical Cluster Tree

ABSTRACT

It is well known that the current wireless sensor networks addressing methods do not work efficiently in networks more than a few hundred nodes. A standard protocol in ZigBee-Standard feature in ZigBee 2007 gives balanced tree based address assignment method with distributed manner. However, it was limited to cover less than hundreds of sensor nodes due to the wasteful use of available address space, because composed sensor networks usually make an unbalanced tree topology in the real deployment. In this paper, we proposed the hierarchical cluster tree based address assignment method to support large and scalable networks. This method provides unique address for each node with distributed manner and supports hierarchical cluster tree on-demand. Simulation results show that the proposed method reduces orphan nodes due to the address exhaustion and supports larger network with limited address space compared with the ZigBee distributed address assignment method defined in ZigBee-Standard feature in ZigBee 2007.

I. 서 론

최근 무선 센서 네트워크 기술이 발전됨에 따라

기존의 홈 네트워크, 원격기기 제어 서비스와 같은 소규모 무선 센서 네트워크뿐만 아니라 U-city, 산불 감지, 그리고 감시 정찰 서비스를 위한 대규모

※ 본 연구는 지식경제부의 IT원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2008-F-052, QoS 및 확장성지원(S-MoRe) 센서네트워크 고도화 기술개발]

* 한국전자통신연구원 RFID/USN연구부 USN기반기술연구팀 ({junny, hjeong, soyoung, ssjoo}@etri.re.kr)

논문번호 : KICS2009-10-507, 접수일자 : 2009년 10월 30일, 최종논문접수일자 : 2009년 12월 11일

센서 네트워크에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 대규모 무선 센서 네트워크를 위해서는 수백 개 이상의 센서 노드들에 대해 네트워크에 유일한 주소를 보다 빠르고 간편하게 제공할 수 있어야 한다.

무선 센서 네트워크의 주소 할당 기법은 크게 분산 주소 할당 기법과 중앙 관리 기법으로 나눌 수 있다. 분산 주소 할당 기법의 대표적인 예는 ZigBee Alliance에서 제정한 ZigBee 2007 프로토콜^[1]이 있으며, 중앙 관리 기법의 대표적인 예에는 IEEE 802.15.5 표준 프로토콜^[2]이 있다. ZigBee 기법과 같은 분산 주소 할당 기법은 네트워크에 접속하고자 하는 노드 및 접속을 허용하는 부모 노드 간의 통신만으로 주소를 할당함으로써 보다 빠른 네트워크 형성, 제어 커맨드에 의한 트래픽 감소가 가능하지만, 망이 커짐에 따라 낭비되는 주소가 발생하는 단점이 있다. 반면에 IEEE 802.15.5 표준 기법과 같은 중앙 관리 기법의 경우, 네트워크 전체에 대해 주소의 낭비 없이 효율적으로 모든 노드에 게 유일한 주소를 할당할 수 있지만, 대규모 네트워크에 있어 초기 네트워크의 형성에 오랜 시간이 요구되고, 노드의 동적인 추가 및 삭제에 적절히 대응하지 못한다는 단점이 있다.

대규모 무선 센서 네트워크를 위한 주소 할당 기법은 초기 네트워크 형성 시간을 단축시키고, 네트워크에 과도한 트래픽을 발생시키지 않으며, 노드의 동적인 추가 및 제거에도 효과적으로 대응할 수 있어야 한다. 따라서 본 논문에서는 분산 주소 할당 기법을 기반으로 기존 기법의 단점을 보완하는 기법을 제시한다.

무선 센서 네트워크 관련 대표적인 표준화 단체인 ZigBee Alliance에서 제정한 ZigBee 프로토콜에서는 균형 트리 기반의 주소 영역을 설정한 후, 트리 토폴로지를 구성하여 주소를 할당하는 분산 주소 할당 기법을 제공한다. ZigBee 분산 주소 할당 기법은 주소 할당을 위한 이웃 테이블의 구성 및 주소 할당과 데이터 전달을 위한 어떤 추가적인 커맨드 패킷의 교환 없이 부모가 자식에게 주소를 할당할 수 있으며, 주소만을 이용하여 데이터 전달이 가능하다. 하지만, ZigBee 분산 주소 할당 기법은 초기 형성된 균형 트리의 구조적인 문제로 인해 네트워크의 크기에 제약이 있어 대규모 네트워크를 구성하기에 적합하지 않다. 또한, 고정된 토폴로지의 사용으로 네트워크에 충분한 주소 영역이 남아 있음에도 불구하고 이웃 라우터들의 주소 고갈로 인해 접속을 하지 못하는 고아 문제(orphan

problem)가 발생한다.^[6-9]

균형 트리 구조의 경우, 코디네이터로부터의 거리가 멀어질수록 네트워크의 밀집도가 균일하게 높아지는 경우에만 주소의 낭비 없이 주소 할당이 가능하다. 하지만, 실제 응용에서는 네트워크의 토폴로지와 무관하게 밀집도가 달라지며, 이러한 차이로 인해 주소 고갈 문제 및 고아 문제가 발생하게 된다. 따라서 대규모 무선 센서 네트워크를 위한 주소 할당 기법은 네트워크의 확장 및 형성에 맞추어 트리 구조를 동적으로 확장하는 것이 바람직하다.

본 논문에서는, 네트워크의 확장에 따라 동적으로 계층적 클러스터 트리를 구성하여 주소를 할당하는 기법을 제안한다. 제안 기법은 16-bit 주소 영역을 클러스터 식별자 영역과 클러스터 내 주소 영역으로 나누어 사용한다. 각 클러스터는 균형 트리 구조를 가지며, 내부에서는 클러스터 내부 주소 영역만을 이용하여 ZigBee의 분산 주소 할당 기법으로 주소를 할당한다. 만약 클러스터의 균형 트리에서 주소 고갈이 발생할 경우, 해당 노드는 코디네이터로부터 클러스터 식별자를 할당받아 새로운 클러스터를 생성한다. 이와 같이 동적으로 네트워크를 확장함으로써 ZigBee와 달리 10-hop 이상의 대규모 네트워크를 구성할 수 있으며, 주소 낭비 및 고갈로 인한 고아 문제에 효과적으로 대응할 수 있다. 또한, 클러스터 기반의 균형 트리 내부에서는 주소 기반의 트리 라우팅을 이용하여 데이터 전달을 수행할 수 있으며, 클러스터 간의 통신에서는 코디네이터와 각 서브 트리의 루트 사이의 라우터 노드들이 클러스터 간의 통신 구간을 저장함으로써 데이터 전달을 수행할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 ZigBee 분산 주소 할당 기법과 해당 기법의 문제점에 대해 상세히 기술한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 방안에 대해 상세히 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통해 제안된 기법의 성능을 분석한다. 그리고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. ZigBee 분산 주소 할당 기법

ZigBee 프로토콜은 초기 2004년의 ZigBee Ver. 1.0을 발표한 이후 ZigBee 2006을 거쳐 현재 ZigBee 2007까지 발표된 표준 프로토콜로, 분산 주소 할당 기법은 초기부터 현재 ZigBee 2007의 Standard feature에 까지 유지되고 있다. 본 장에서는 ZigBee 분산 주소 할당 기법의 특징과 대규모

네트워크를 구성할 때의 문제점에 대해 살펴본다.

2.1 ZigBee 분산 주소 할당 기법의 특징

ZigBee 분산 주소 할당 기법에서는 우선 주소로 사용할 균형 트리를 구성한다. 균형 트리는 네트워크의 코디네이터 및 라우터가 가질 수 있는 최대 자식의 수 (Cm), 코디네이터 및 라우터가 가질 수 있는 최대 라우터 자식의 수 (Rm), 그리고 트리의 최대 깊이 (Lm)에 따라 다르게 형성되며, ZigBee에서는 Cskip(d)이라는 네트워크 깊이에 대한 함수를 이용하여 주소 할당 및 라우팅을 수행한다. 여기서 Cskip(d)은 구성된 전체 균형 트리에서 해당 깊이의 라우터의 자식 노드를 루트로 하는 서브 트리의 노드 수를 의미한다. Cskip(d) 함수는 아래와 같이 정의된다.

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

코디네이터 및 라우터 노드들은 자식으로부터의 접속 요청에 대해 아래의 값을 주소로 할당한다.

$$(\text{자기 주소}) + C_{\text{skip}}(d) \times (\text{현재 자식의 수}) + 1$$

ZigBee 분산 주소 할당 기법은 이와 같이 부모가 자식에게 주소를 할당함으로써 멀티 홉 데이터 전송에 있어 추가적인 테이블 유지나 커맨드 패킷의 교환 없이 자신의 주소와 목적지의 주소, 그리고 네트워크 파라미터만을 이용한 트리 라우팅을 지원한다. 트리 라우팅은 상위로의 전송, 하위로의 전송으로 크게 나누어지는데, ZigBee 네트워크에서 각 라우터는 목적지의 주소가 자신의 주소보다 작거나 부모의 Cskip(d)과 자신의 주소의 합보다 크면 상위로 전송하고, 그렇지 않은 경우 목적지의 주소보다 주소의 크기가 작은 자식 노드들 중 주소 값이 가장 큰 자식에게 전송한다.

이와 같이 ZigBee 네트워크는 분산 기법으로 모든 노드에게 유일한 주소를 할당하는 동시에 트리 라우팅을 지원할 수 있다. 다음 장에서는 ZigBee 네트워크의 단점에 대해 분석한다.

2.2 ZigBee 분산 주소 할당 기법의 문제점

ZigBee 분산 주소 할당 기법은 2.1에서 언급한 여러 장점에도 불구하고 주소 고갈로 인한 고아 노드 발생 문제와 네트워크 확장의 제한 때문에 대규모

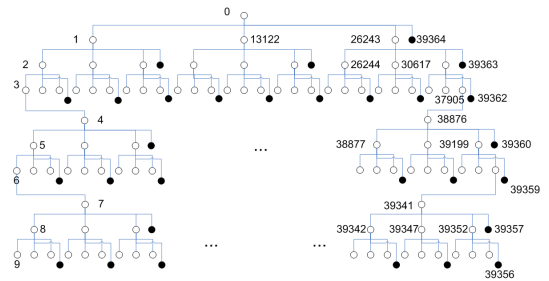
네트워크 형성에 문제점을 보인다.

그림 1은 ZigBee 분산 주소 할당 기법을 이용한 네트워크 구성의 예이다. 코디네이터는 네트워크 깊이가 0이므로 (Lm, Cm, Rm) = (9, 4, 3)인 네트워크에 대해 Cskip(0)을 구하면, 13121이 된다. 따라서 코디네이터의 자식은 1, 13122, 26243, 그리고 39364를 각각 주소로 갖는다. 이와 같이 모든 네트워크에 대한 주소 영역을 설정하면 그림 1과 같은 균형 트리 형태가 된다.

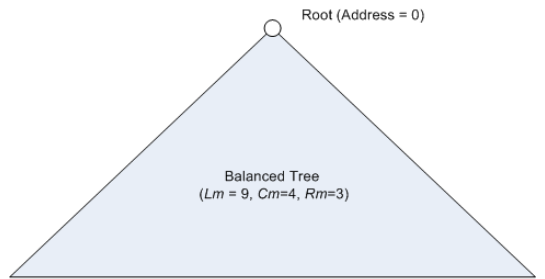
그림 1의 (a)는 형성된 트리에 대한 주소 공간을 나타내며, (b)는 형성된 트리의 개념도이다. 초기 설정된 네트워크 파라미터인 (Lm, Cm, Rm)의 값이 정해지면, 해당 네트워크의 주소 사용량이 정해진다.

$$\text{주소 사용량} = C_{\text{skip}}(0) \times R_m + C_m - R_m + 1 \quad (2)$$

ZigBee 네트워크는 IEEE 802.15.4 MAC^[3] 상위 계층의 프로토콜이므로, 주소 영역은 16-bit로 정의된다. 따라서 주소 사용량은 항상 2¹⁶, 즉 65536보다 작아야 한다. 그런데 대규모 센서 네트워크의 경우 네트워크에 참여하는 노드의 수는 수백 개 이상이 될 수 있으므로, 멀티 홉 연결에 있어 트리의



(a) 트리 상의 주소 공간



(b) 개념도

그림 1. ZigBee 분산 주소 할당 기법에서 (Lm, Cm, Rm) = (9, 4, 3)인 균형 트리 예

깊이는 확장 가능해야 한다. 하지만, ZigBee 분산 주소 할당 기법의 경우 Cm 과 Rm 이 결정되면 Lm 은 균형 트리 구조로 인해 제한된다. 그림 2는 (Lm, Cm, Rm)에 따른 주소 사용량을 나타낸 도이다.

그림 2와 같이 Rm 이 3인 경우, Lm 을 10으로 설정하면 주소 사용량이 65536을 초과한다. 이와 같이 Rm 의 값이 크면 클수록 Lm 은 더욱 작아져야 하며, 이로 인해 (Lm, Cm, Rm) 값에 의해 형성된 균형 트리보다 더 넓은 범위를 갖는 네트워크에서는 트리 깊이의 제약으로 인해 고아 노드가 발생하게 된다.

뿐만 아니라, ZigBee 네트워크에서 노드의 접속이 트리의 일부 가지에 집중될 경우 충분히 많은 주소 영역이 남아 있음에도 불구하고 토폴로지의 제약으로 인해 고아 노드가 발생할 수 있다. 실제 네트워크의 구성에서는 앞서 살펴본 네트워크의 확장 제한보다 토폴로지의 불균형성에 의해 발생하는 고아 노드 문제가 더욱 심각하다. 그림 3은 (Lm, Cm, Rm) = (3, 4, 3)인 네트워크에서 토폴로지의 불균형성으로 인해 발생하는 고아 문제를 보여준다. 그림 3의 경우 네트워크의 주소 사용량은 53이며, 최대 허용할 수 있는 라우터의 수는 코디네이터를 포함하여 40개이다. 하지만, A와 통신 가능한 {35, 41, 46, 47, 48, 49} 노드들은 트리의 종단이거나 할당 가능한 주소를 모두 할당하였으므로, 더 이상 접속을 허용할 수 없다. 따라서 네트워크는 총 23개의 여유 주소가 있음에도 불구하고 A 노드의 접속을 허용할 수 없게 된다.

이와 같이 실제 네트워크에서 각 노드들은 네트

(Lm, Cm, Rm)	(9, 3, 3)	(10, 3, 3)	(7, 4, 4)	(8, 4, 4)	(6, 5, 5)	(7, 5, 5)
Max Address	29253	88572	21844	87380	19530	97655

그림 2. (Lm, Cm, Rm)에 따른 주소 사용량

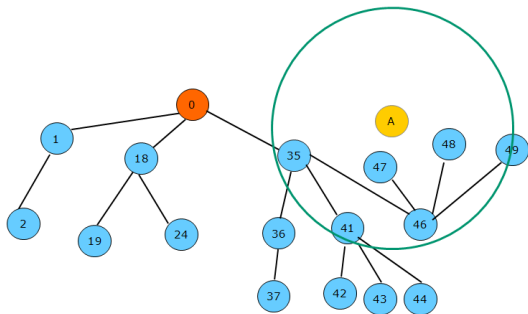


그림 3. ZigBee 네트워크에서의 고아 문제

워크 밀집도의 차이 및 분포의 특성으로 인해 균형 트리가 아닌 불균형 트리 구조로 네트워크를 형성한다. 따라서 균형 트리 기반의 주소 할당을 수행할 경우, 여유 주소가 있음에도 불구하고 주소를 할당할 수 없는 고아 문제가 발생한다.

다음 장에서는 대규모 네트워크에서 기존 ZigBee의 장점을 갖는 동시에 2.2 장에서 언급한 문제들을 해결하는 기법을 제시하고 이에 대해 설명한다.

III. 계층적 클러스터 트리 기반 분산 주소 할당 기법

제안된 기법은 초기 균형 트리를 구성한 이후, 네트워크의 확장에 따라 균형 트리를 추가로 구성함으로써 전체 네트워크 토폴로지의 불균형성에 대응하는 주소 할당 기법이다. 제안된 기법은 주소 고갈 및 사용자의 요청에 의해 계층적 클러스터 트리를 동적으로 구성하며, 각 클러스터 트리 내부에서는 ZigBee의 분산 주소 할당 기법을 활용한다.

3.1 클러스터 트리 구성

우선 IEEE 802.15.4 MAC 계층과 같이 16-bit 주소 공간을 가정한다. 클러스터 트리를 구성하기 위해 16-bit 주소 공간을 그림 4와 같이 두 개의 영역으로 구분하여 사용한다.

그림 4에서 m 은 모든 노드들이 공유하는 네트워크 파라미터이다. 이 m 값에 의해 네트워크에서 생성 가능한 클러스터의 수가 정의되며, 클러스터 내부에서 사용 가능한 주소량의 크기가 결정된다. 즉, 클러스터 내부에서 ZigBee 분산 주소 할당 기법을 사용하기 위해서는 수식 (2)의 결과 주소 사용량이 2^{16-m} 보다 항상 작거나 같아야 한다.

초기 코디네이터에 의해 형성된 클러스터는 항상 클러스터 식별자를 0으로 가지며, 코디네이터의 주

Cluster ID	Address Bit
$m=7$	$16-m=9$
← 16-bit →	
# of Cluster	Max address per cluster
128	512

그림 4. 제안된 기법의 16-bit 주소 영역

소는 0이 된다. 코디네이터는 현재 할당된 클러스터의 식별자와 노드의 주소를 저장하며, 할당 가능한 클러스터의 수를 관리한다. 즉, 모든 클러스터의 주가는 코디네이터로부터 이루어지며, 코디네이터는 새로운 클러스터 요구에 대해 할당 가능한 클러스터 식별자를 할당한다. 클러스터는 아래와 같은 경우 추가된다.

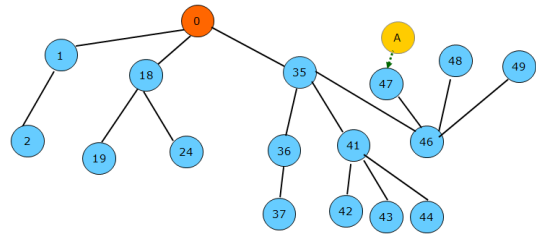
- 1) 현재 구성된 네트워크에서 주소 고갈로 인해 네트워크 접속이 불가능한 경우
- 2) 사용자의 요구에 의해 새로운 클러스터를 생성하고자 하는 경우

1)의 경우는 앞서 2.2장에서 설명한 바와 같이 대규모 네트워크에서 주소 고갈이 발생한 경우이다. 일반적으로 네트워크에 접속하고자 하는 노드는 라우터의 비컨을 수신하여 네트워크의 정보를 검색하는데, 주소가 고갈되었거나 트리의 종단에 배치된 라우터는 비컨에 자식을 수용할 수 없음을 표시한다. 자신이 자식을 수용할 수 없음에도 불구하고 신규 노드로부터 접속 요청을 받게 되면, 코디네이터에게 클러스터 요청 커맨드를 전송한다. 코디네이터는 클러스터 할당 여부를 판단한 후, 해당 요청 라우터에게 클러스터 식별자를 포함하는 클러스터 요청 응답 커맨드를 전송한다. 성공적으로 클러스터가 할당된 경우, 라우터는 새로운 클러스터 식별자를 이용하여 접속 요청 노드에게 주소를 할당한다.

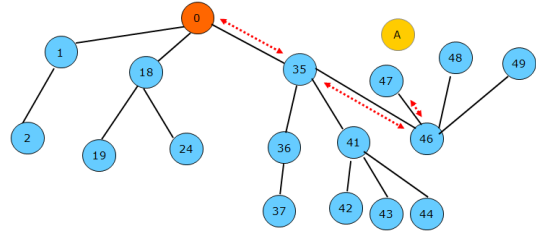
2)의 경우는 상위 계층에서의 필요에 의해 새로운 클러스터를 생성하고자 하는 경우이다. 상위로부터 클러스터 생성을 요청받은 노드는 접속 요청 시 클러스터 생성 여부를 함께 전송한다. 부모 노드는 1)의 경우와 같이 클러스터 요청 커맨드를 코디네이터에게 전송하고 클러스터 요청 응답 커맨드를 수신하여 주소를 할당한다.

그림 5는 앞선 그림 3과 같이 $(Lm, Cm, Rm) = (3, 4, 3)$, 그리고 클러스터 식별자 영역 m 은 7로 설정한 경우의 예를 나타낸다. 앞서 설명한 1)과 2)의 경우 모두 그림 5의 (a), (b), (c)의 과정을 통해 주소를 할당받는다.

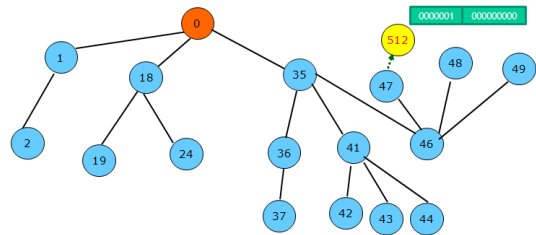
이와 같이 주소의 고갈이나 사용자의 요구에 의해 새로운 클러스터를 생성함으로써 대규모 네트워크에서 유일한 주소를 할당할 수 있으며, 네트워크의 동적인 확장에 유연하게 대처할 수 있다. 그림 6은 동적인 클러스터 트리의 확장을 통해 구현된 트리의 예이다.



(a) 신규 노드의 접속 요청



(b) 코디네이터로부터 클러스터 할당



(c) 새로운 클러스터 식별자를 이용한 주소 할당

그림 5. 클러스터 할당을 통한 주소 할당 예

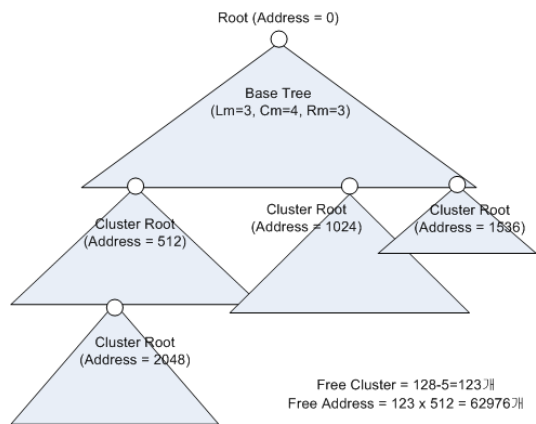


그림 6. 분산 주소 할당 기법에서 클러스터

3.2 라우팅

3.1 장과 같이 계층적 클러스터를 구성한 경우 클러스터 내부에서는 $(16-m)$ bit로 이루어진 클러스터

터 내부 주소 영역만을 이용하여, 트리 라우팅을 통해 멀티 홉으로 데이터를 전송할 수 있다. 하지만, 클러스터 간 통신의 경우에는 이를 그대로 지원할 수 없으며 트리 라우팅을 위한 추가 절차가 필요하다.

앞서 설명한 바와 같이, 모든 클러스터의 추가에는 코디네이터로부터 클러스터 요청 라우터까지 클러스터 요청 응답 커맨드 전송이 이루어진다. 만약 클러스터 요청 응답 커맨드가 새로운 클러스터 식별자를 포함하고 있다면, 커맨드를 전송하는 모든 라우터 노드들은 새로운 클러스터 식별자와 대상 노드의 주소를 알 수 있다. 즉, 모든 클러스터 할당에 대해 코디네이터와 클러스터 루트 사이의 라우터들이 이들 정보를 저장함으로써, 클러스터 간 멀티 홉 데이터 전송 시 데이터를 중계할 수 있다. 이와 같이 클러스터 할당 절차를 이용함으로써 별도의 추가 절차 없이 클러스터 간의 데이터 전송을 지원할 수 있다.

기존 ZigBee 네트워크의 트리 라우팅 외에, 이웃 노드 정보와 트리 구조를 이용한 메쉬 라우팅^[4] 역시, 클러스터 정보를 저장하고 있는 라우터 노드들을 이용함으로써 정상적으로 지원할 수 있다.

IV. 성능 평가

4.1 시뮬레이션 환경과 척도

제안된 계층적 클러스터 트리 기반 분산 주소 할당 기법의 성능 측정을 위해 MATLAB 7.0 시뮬레이터를 사용하였다. 통신 거리는 시뮬레이션 상의 Euclidean distance에 아래 수식과 같은 log-normal 오차를 반영하였다.^[10] (3) 수식에서 $P_{i,j}$ (dBm)는 수신 신호 세기이다. 만약 수신 신호 세기가 Gaussian 분포를 갖는다고 가정하면, 신호 세기에 의한 거리는 log-normal 분포를 갖는다. 시뮬레이션에서는 log-normal 분포에 의한 오차를 반영하여 노드 간의 통신 가능 유무를 판단하였다. 이 때 σ_{dB}/n_p , 환경 파라미터는 1.7로 설정하였다.^[10]

$$P_{i,j}(\text{dBm}) \sim N(\overline{P_{i,j}}(\text{dBm}), \sigma_{dB}^2)$$

$$\overline{d_{i,j}} = d \times 10^{(1/10n_p)N(0, \sigma_{dB}^2)} \quad (3)$$

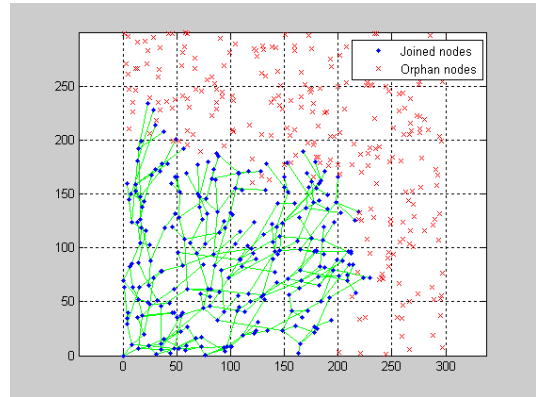
시뮬레이션에서는 코디네이터와 가까운 노드부터 접속을 시도하였으며, 전체 노드에 대한 접속이 모두 수행된 후, 고아 노드는 다시 한 번 접속을 시도하도록 설정하였다. 그리고 접속하고자 하는 노드의

주위에 여러 라우터가 존재하는 경우에는 트리 깊이가 가장 낮은 노드에게 접속하도록 설정하였다. 또한 편의상 모든 노드는 라우터로 가정하였다.

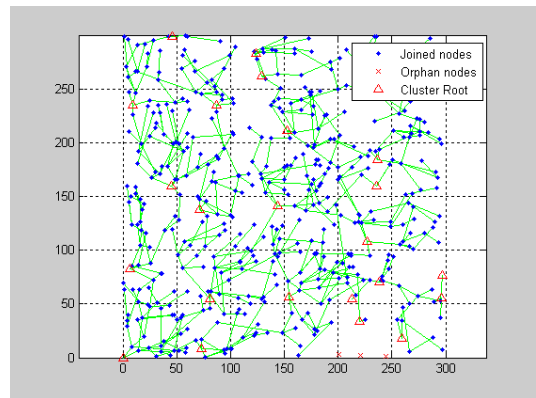
망의 크기, 배치 노드의 수, RF 통신 거리를 변화하며 시뮬레이션을 수행하였으며, 각 상황에서 네트워크 파라미터인 (Lm, Cm, Rm)과 클러스터 식별자 영역을 바꾸어 가며 결과를 분석하였다. 코디네이터의 위치는 망의 중앙과 구석, 나머지 노드의 배치는 Grid 배치와 랜덤 배치를 사용하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

그림 7은 300×300의 공간에 500개의 라우터를 배치했을 때, ZigBee 분산 주소 할당 기법과 제안된 기법을 비교한 것이다. 코디네이터는 왼쪽 아래 구석에 배치하고, 라우터 노드들은 랜덤하게 배치하였으며, RF 통신 거리는 20으로 설정하였다. 네트워크 파라미터의 경우, ZigBee 기법에서는 ($Lm,$



(a) ZigBee 분산 주소 할당 기법



(b) 제안된 기법

그림 7. 300×300의 공간에 500개가 랜덤하게 배치된 경우 시뮬레이션 결과

$Cm, Rm) = (9, 3, 3)$, 제안된 기법에서는 $(Lm, Cm, Rm) = (4, 3, 3)$, 그리고 $m=7$ 로 설정하였다.

그림7의 시뮬레이션 결과에서 점은 성공적으로 접속한 라우터 노드, x는 고아 노드, 그리고 (b)의 삼각형은 할당된 클러스터의 루트를 나타낸다. 제시된 시뮬레이션 결과는 아래 표 1과 같다.

표 1에서 ZigBee 기법의 할당 가능한 주소는 트리의 주소 사용량에서 할당된 주소의 수를 뺀 값이며, 제안된 기법의 할당 가능한 주소는 총 클러스터가 할당할 주소 사용량에서 사용한 주소를 뺀 값과 할당 가능한 클러스터 영역의 주소량의 합이다. ZigBee 기법의 경우 Rm 를 3으로 설정하였을 때, Lm 은 9로 제한된다. 표 1에서 보느바와 같이 제안된 기법은 기존의 기법보다 적은 주소량을 할당하였음에도 고아 노드의 발생 수는 감소하였음을 확인할 수 있다.

표 2는 300×300 의 공간에 500개의 라우터를 배치하고 RF 통신 거리를 20으로 설정한 후, (Lm, Cm, Rm) 의 값을 바꾸었을 때 고아 노드의 발생 수를 비교한 결과이다.

표 2의 결과는 해당 시뮬레이션을 1000회 반복한 결과 발생한 고아 노드의 수를 평균한 값으로, 소수점 둘째자리까지만 표기하였다. 단, 랜덤 분포인 관계로 코디네이터가 고립됨으로 인해 네트워크에 접속한 노드의 수가 10개 미만인 경우는 제외하

표 1. 그림 7에 대한 시뮬레이션 결과.

Item	ZigBee 기법	제안된 기법
Total nodes	500	500
Orphan nodes	253	3
Joined nodes	247	497
number of clusters	1	25
Remain addresses	29275	55526

표 2. (Lm, Rm) 값의 변화에 따른 ZigBee 기법과 제안된 기법에서의 고아 노드 수 (랜덤 분포, 코디네이터 모서리)

(Lm, Rm)	ZigBee 기법	(Lm, Rm)	제안된 기법
(15, 2)	120.17	(8, 2)	1.10
(9, 3)	305.79	(5, 3)	0.97
(7, 4)	364.33	(4, 4)	0.95
(6, 5)	393.91	(3, 5)	1.10
(6, 6)	390.31	(3, 6)	1.18
(5, 7)	420.23	(3, 7)	0.99

였다. 코디네이터의 위치는 왼쪽 하단 모서리로 고정하였으며, 라우터 노드의 배치 및 RF 통신 오차는 매 회 랜덤하게 설정되도록 하였다. 단, 여기서는 편의상 Cm 과 Rm 을 같도록 설정하였다. 두 기법의 비교를 위해 Rm 은 같도록 설정하되 Lm 은 각각 16-bit, (16-m) bi에서 할당 가능한 최대 주소 사용량을 같도록 설정하였다. 그림 8은 표 2의 결과를 나타낸 그래프이다.

표 3은 앞서 표 2의 실험과 동일한 상황에서 코디네이터의 위치만 중앙으로 옮겼을 때의 결과를 나타낸 것이다. 코디네이터의 위치를 제외한 모든 파라미터는 동일하게 설정하였다. 그림 9는 표 3의 결과를 나타낸 그래프이다.

표 4와 5에서는 300×300 의 공간에 매 10마다 Grid 형태로 라우터를 배치하고 RF 통신 거리를 20으로 설정한 후, (Lm, Cm, Rm) 의 값을 바꾸었을 때 발생한 고아 노드의 수를 비교한 결과이다.

300×300 의 공간이므로 라우터의 수는 총 961개이며, 코디네이터의 위치는 표 4의 실험에서는 왼쪽 하단 모서리, 표 5의 실험에서는 가운데로 고정하였다. RF 통신 거리 오차를 반영하기 위해 실험 결과는 앞서 랜덤 분포 때와 같이 1000회의 시뮬레이션

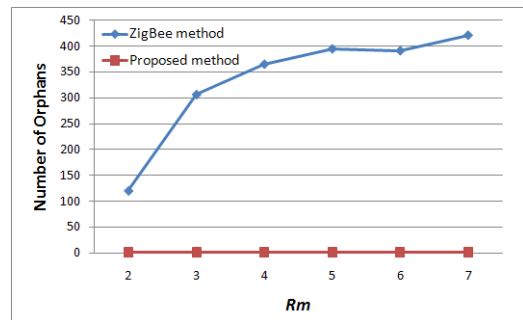


그림 8. Rm 값의 변화에 따른 ZigBee 기법과 제안된 기법에서의 고아 노드 수 (랜덤 분포, 코디네이터 모서리)

표 3. (Lm, Rm) 값의 변화에 따른 ZigBee 기법과 제안된 기법에서의 고아 노드 수 (랜덤 분포, 코디네이터 가운데)

(Lm, Rm)	ZigBee 기법	(Lm, Rm)	제안된 기법
(15, 2)	2.69	(8, 2)	0.68
(9, 3)	26.08	(5, 3)	0.67
(7, 4)	96.76	(4, 4)	0.67
(6, 5)	165.10	(3, 5)	0.69
(6, 6)	142.31	(3, 6)	0.70
(5, 7)	242.84	(3, 7)	0.65

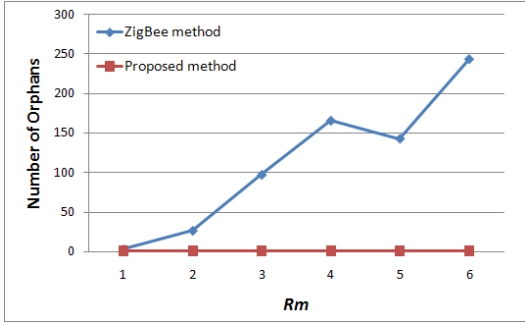


그림 9. R_m 값의 변화에 따른 ZigBee 기법과 제안된 기법에서의 고아 노드 수 (랜덤 분포, 코디네이터 모서리)

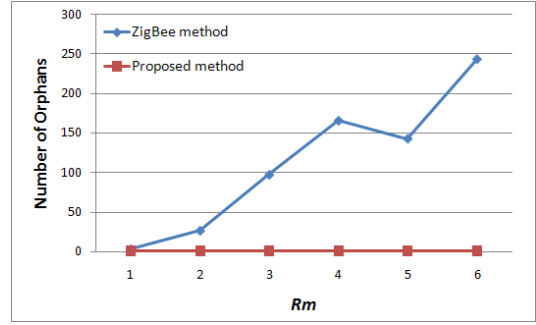


그림 10. R_m 값의 변화에 따른 ZigBee 기법과 제안된 기법에서의 고아 노드 수 (랜덤 분포, 코디네이터 모서리)

표 4. (L_m, R_m) 값의 변화에 따른 ZigBee 기법과 제안된 기법에서의 고아 노드 수 (Grid 분포, 코디네이터 모서리)

(L_m, R_m)	ZigBee 기법	(L_m, R_m)	제안된 기법
(15, 2)	84.28	(8, 2)	0
(9, 3)	505.78	(5, 3)	0
(7, 4)	643.94	(4, 4)	0
(6, 5)	706.73	(3, 5)	0
(6, 6)	693.86	(3, 6)	0
(5, 7)	775.06	(3, 7)	0

표 5. (L_m, R_m) 값의 변화에 따른 ZigBee 기법과 제안된 기법에서의 고아 노드 수 (Grid 분포, 코디네이터 가운데)

(L_m, R_m)	ZigBee 기법	(L_m, R_m)	제안된 기법
(15, 2)	0.05	(8, 2)	0
(9, 3)	9.10	(5, 3)	0
(7, 4)	101.81	(4, 4)	0
(6, 5)	222.39	(3, 5)	0
(6, 6)	161.15	(3, 6)	0
(5, 7)	385.40	(3, 7)	0

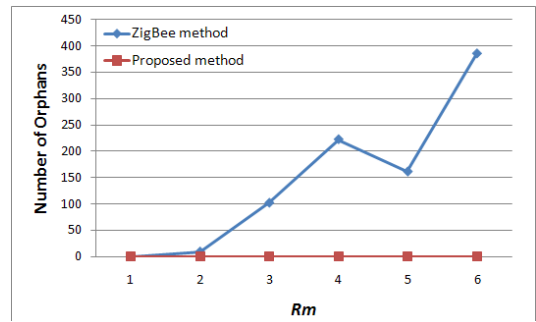


그림 11. R_m 값의 변화에 따른 ZigBee 기법과 제안된 기법에서의 고아 노드 수 (Grid 분포, 코디네이터 가운데)

결과의 평균으로 나타내었으며, C_m 과 R_m 은 동일하게 설정하였다. 그림 10은 표 4의 실험 결과를, 그림 11은 표 5의 실험 결과를 나타낸 그래프이다.

제안된 기법에서 발생한 고아 노드는 RF 통신 거리 내에 라우터 노드가 존재하지 않음으로 인해 고립된 경우 발생한 것이다. 시뮬레이션 결과에서 보는 바와 같이 기존 ZigBee 기법에 비해 제안된 기법을 사용한 경우 (L_m, C_m, R_m) 값과 무관하게 고아 노드의 발생 빈도에서 항상 우수한 결과를 보임을 알 수 있다.

단, 제안된 기법의 경우 형성된 클러스터의 수만큼 코디네이터로부터 클러스터를 할당받는 절차가

추가 되어야 하는 단점이 있다. 표 6은 시뮬레이션에 따라 추가된 클러스터 수의 평균값이다. 앞서 설명된 바와 같이 클러스터의 추가를 위해서는 부모 노드로부터 코디네이터까지의 양방향 통신이 필요하다.

즉, 제안된 기법을 통해 주소 할당을 수행한 경우, 고아 노드의 발생을 제한할 수는 있지만, Σ (각 클러스터 루트의 트리 깊이 \times 2) 만큼의 제어 커맨드 전송이 필요하다. 대규모 네트워크인 경우 L_m 이 작을수록 추가된 클러스터의 수가 늘어나며, 이는 네트워크에 더 많은 트래픽을 발생시키므로, 네트워

표 6. (L_m, R_m) 값, 분포, 그리고 코디네이터의 위치 변화에 따라 제안된 기법에서 추가 생성된 클러스터의 수

(L_m, R_m)	Random, Center	Random, Corner	Grid, Center	Grid, Corner
(8, 2)	15.49	14.39	0.68	11.15
(5, 3)	17.22	18.09	15.60	15.04
(4, 4)	22.04	22.44	19.69	18.57
(3, 5)	30.96	30.95	29.15	28.85
(3, 6)	29.87	30.74	26.46	26.81
(3, 7)	29.23	29.81	25.28	25.53

크의 규모 및 배치에 따라 L_m 및 클러스터 식별자 영역의 크기를 적절히 설정하는 것이 중요하다.

V. 결 론

본 논문에서는 대규모 무선 센서 네트워크에서 네트워크 확장을 지원하는 계층적 클러스터 트리 기반 분산 주소 할당 기법을 제안하였다. 제안된 기법에서는 16-bit 주소 영역을 클러스터 식별자 영역과 클러스터 내 주소 영역으로 나눈 후, 클러스터 내부에서는 기존의 ZigBee 분산 주소 할당 기법을 사용하여 주소를 할당하고, 주소 고갈로 인해 고아 노드가 발생하거나 사용자에게 의해 네트워크 확장이 필요한 경우에는 동적으로 클러스터를 생성하여 주소를 할당한다. 새로운 클러스터의 생성 시에만 코디네이터로부터 클러스터 식별자를 할당받는 절차를 가지며, 생성된 각 클러스터는 독립적으로 분산 주소 할당 기법을 사용함으로써 대규모 센서 네트워크에서 유일한 주소를 할당하고 고아 노드의 발생을 억제한다. 또한 제안된 주소 할당 기법은 기존의 트리 라우팅을 비롯한 주소 기반 라우팅을 지원하며, 네트워크의 동적인 확장에도 효과적으로 대응할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] ZigBee Alliance, *ZigBee Specification Document 053474r17*, online at <http://www.zigbee.org>, January 17, 2008.

[2] IEEE 802.15.5/D8, *Draft Recommended Practice for Information Technology- Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements Part 15.5: Mesh Topology Capability in Wireless Personal Area Networks (WPANs)*, December 2008.

[3] IEEE 802.15.4, *Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)*, Standard, IEEE, December, 2003.

[4] J.Ha, H. Park, S. Choi, and W. Kwon, "EHRP: Enhanced Hierarchical Routing Protocol for ZigBee Mesh Networks", in *IEEE Communications Letters*, June, 2007.

[5] C. Schurgers, G. Kulkarni, and M. Srivastava, "Distributed assignment of encoded MAC addresses in wireless sensor networks", in *Proc. MobiHoc*, 2001.

[6] S. Hur, J. Kim, J. Choi, and Y. Park, "An Efficient Addressing Scheme and Its Routing Algorithm for a Large-Scale Wireless Sensor Networks", in *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2008.

[7] M. Pan, H. Fang, Y. Liu, and Y. Tseng, "Address Assignment and Routing Schemes for ZigBee-Based Long-Thin Wireless Sensor Networks", in *VTC Spring*, 2008.

[8] M. Ali and Z. A. Uzmi, "An energy-efficient node address naming scheme for wireless sensor networks", in *Proc. Of IEEE Int'l Networking and communications Conference (INCC)*, 2004.

[9] S. Park, E. Lee, J. Ryu, S. Joo and H. Kim, "Distributed Borrowing Addressing Scheme for ZigBee/IEEE 802.15.4 Wireless Sensor Networks", in *ETRI Journal*, 2009.

[10] N. Patwari, A. O. Hero, M. Perkins, N. S. Correal, and R. J. O'Dea, "Relative Location Estimation in Wireless Sensor Networks", in *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 51, No.8, August, 2009.

박 종 준 (Jongjun Park)

정회원



2004년 2월 포항공과대학교 전
자전기공학과 학사
2006년 2월 포항공과대학교 전
자전기공학과 석사
2006년 2월~현재 한국전자통
신연구원 연구원
<관심분야> 센서 네트워크, 위
치 인식

정 훈 (Hoon Jeong)

정회원



1997년 2월 전남대학교 전자공학과 학사
1999년 8월 전남대학교 컴퓨터공학과 석사
2006년 2월~현재 한국전자통신연구원 선임연구원
<관심분야> 센서 네트워크, 임

베디드시스템

황 소 영 (Soyoung Hwang)

정회원



1999년 2월 부산대학교 전자계산학과 학사
2001년 2월 부산대학교 전자계산학과 석사
2006년 2월 부산대학교 전자계산학과 박사
2006년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원

<관심분야> 센서 네트워크, 임베디드시스템, 시각동기

주 성 순 (Seong-Soon Joo)

정회원



1980년 2월 한양대학교 전기공학과 학사
1982년 2월 서울대학교 전기공학과 석사
1989년 2월 서울대학교 전기공학과 박사
1983년 1월~현재 한국전자통신연구원 USN기반기술연구팀장

2004년 9월~현재 과학기술연합대학원 겸임교수
1996년 8월~1997년 8월 아리조나 주립 대학교 전기컴퓨터공학부 방문연구원
2007년 8월~2007년 12월 토론토 대학교 전기공학부 방문연구원
<관심분야> 미래인터넷, 지능 공간 통신, 지능 제어, 통신 시스템 및 네트워크 설계