

스마트그리드 환경에서 효율적인 주소 할당 방법과 라우팅 알고리즘

임 송 빈*, 김 화 성**, 오 영 환*

An Effective addressing assignment method and Its Routing Algorithm in Smart Grid Environments

Song-Bin Im*, Hwa-Sung Kim**, Young-Hwan Oh*

요 약

본 논문에서는 스마트그리드 환경에서 적용되고 있는 ZigBee 무선 통신 환경의 주소 지정 방식과 라우팅 알고리즘의 성능을 향상시키기 위한 새로운 좌표 값 알고리즘을 제안하였다. 수천 개의 네트워크 크기와 16비트 주소 할당은 빈번한 주소 충돌로 매우 혼잡스러울 수 있다. 따라서 16비트 주소 공간을 분할하여 사용하는 (x, y, z) 좌표축 주소 구조와 라우팅을 제안한다. (x, y) 좌표축 주소 할당은 센서노드가 지리적으로 가까운 라우터에게 연결되어 있어야 하기 때문에, 어떤 라우터는 많은 수의 하위 노드를 가질 수 없다는 문제점을 가지기 때문이다. 또한 제안한 주소 구조를 사용한 위치 기반 라우팅 알고리즘을 제안한다. 그 결과 각 노드에서 라우팅 시 적은 비트 연산과 멀티홉을 감소시킬 수 있었고, 효율적인 주소 할당과 라우팅은 네트워크의 각 노드의 에너지 소비를 최소화 했다.

▶ Keywords : 스마트 그리드, 지그비, Cskip 알고리즘, 위치기반 알고리즘

Abstract

In this paper, we proposed the efficient addressing scheme for improving the performance of routing algorithm by using ZigBee in Smart Grid environment. In a 16-bit address space and the network size of a few thousands, it is very unlikely to suffer from frequent address collisions. In response, we propose an elegant (x, y, z) coordinate axes addressing scheme from divided address space of 16 bit and its routing algorithm. One of disadvantages of (x, y) coordinate axes addressing, however, is that any router may not hold as many children as proposed, since sensor nodes tend to be connected to a geographically nearby router. We also present an adaptive routing algorithm for location-aware routing algorithms, using our addressing scheme. As a result, each

• 제1저자 : 임송빈 교신저자 : 임송빈

• 투고일 : 2012. 09. 24. 심사일 : 2012. 10. 12. 게재확정일 : 2012. 10. 23.

** 광운대학교 전자통신공학과 교수 * 광운대학교 전자통신공학과 교수

node was reduced not only bitwise but also multi hop using the coordinate axes while routing and the effective address assignment and routing is to minimize the average energy consumption of each node in the network.

▶ Keywords : Smart Grid, ZigBee, Cskip Algorithm, Location aware routing Algorithm

1. 서 론

전력망에 통신망을 접목시켜 전력계통 시스템의 제어를 통하여 발전·송전·배전의 전 과정에 대한 통제가 가능하여 지고, 결과적으로 에너지 사용의 효율성을 높이고자 하는 것이 에너지 인터넷이라고 불리는 스마트 그리드(Smart Grid)의 목표이다. 즉 기존 전력망에 정보 기술(IT)을 융합하여 전력 공급자와 소비자가 양방향으로 정보를 교환함으로써 에너지 효율을 최적화하는 차세대 전력망이라고 할 수 있다^{[1][2]}

지금까지는 스마트 그리드 산업의 도입단계로써 스마트 시티에 적합한 연구 개발이 활발한 가운데 각종 건물이나 빌딩 등 입체 공간 및 다양한 환경에 적합하도록 많은 연구가 진행되고 있다. 따라서 AMR(Auto Meter Reading)의 단순한 원격 검침 기능뿐만 아니라 생산자와 소비자 간의 양방향 정보 제공 및 연동의 기능을 가지는 AMI(Advanced Metering Infrastructure)와 같은 인프라가 스마트 그리드에 있어 필수적인 요소가 될 것이다.^{[3][4]} AMI란 다양한 정보통신 기술을 활용하여 전력, 가스, 물 등의 에너지생산/소비정보를 실시간으로 전달하여 에너지의 효율적인 활용을 지원하는 스마트 그리드 기술을 말한다. 현재 스마트 제어기와 AMI를 연결하기 위한 네트워크 시스템으로는 다양한 네트워크 프로토콜이 제안되고 있다. 활발한 스마트산업의 발전에 따라 HA(Home Automation) 시스템을 구현하기 위해 ZigBee 무선 통신이 많이 고려되고 있다. ZigBee는 저 전력, 저 가격, 사용의 용이성을 가진 근거리 무선 센서네트워크의 대표적 기술 중의 하나로써 IEEE 802.15.4^[5] 표준의 PHY 층과 MAC층을 기반으로 상위 계층인 Network, APL 계층은 ZigBee Specification에 정의되어 있다. 이러한 ZigBee 무선 통신은 저속의 전송 속도를 갖는 HA 및 데이터 네트워크를 위한 표준 기술로써 버튼 하나하나의 동작을 잡아 집안 어느 곳에서나 전등 제어 및 홈 보안 시스템 VCR on/off 등을 할 수 있고, 인터넷을 통한 전화 접속으로 HA를 더욱 편리하게 이용하려는 것에서부터 출발한 기술이다. ZigBee 네트워크 계층에 관련하여 라우팅 경로를 줄이기 위한 방법으

로 노드가 가진 이웃데이블을 이용한 다양한 라우팅 방법이 연구되고 있다.^{[6][7][8]} 이와 같이 에너지를 효율을 고려한 라우팅 알고리즘에 관한 연구는 지속적으로 개발되고 있다. 그뿐 아니라 현대화 사회를 이루면서 많은 빌딩, 아파트 등, 초고층 건물들을 효율적으로 사용하기 위하여 빌딩용 스마트 에너지 관리 시스템(BEMS)이 최근 연구되고 있다. 그림 1은 스마트 에너지 관리 시스템(SEMS)과 BEMS의 연동 시나리오이다.

스마트 에너지 관리 시스템에서 HAN(Home Area Networks) 영역의 통신 기술로 연구되고 있는 ZigBee 네트워크는 코디네이터, 라우터, 센서노드로 구성되며 이러한 많은 노드들이 하나의 네트워크를 구성하며 센서 네트워크에서 주소 범위를 할당하는 방식으로 *Cskip* 알고리즘을 사용한다. 분산 주소 할당 방식 중의 하나인 *Cskip* 알고리즘을 쓰기 위해 3가지의 고정된 파라미터를 알아야 한다. 이 3가지 파라미터는 라우터나 코디네이터가 가질 수 있는 자식노드의 최대 개수, 자식노드가 라우터로 될 수 있는 최대 개수, 네트워크의 최대 깊이이다. 그러나 이렇게 논리적으로 형성된 네트워크는 실제적으로 센서를 배치하게 되면 낭비되는 주소 공간이 증가할 수 있다는 치명적인 약점이 존재한다.

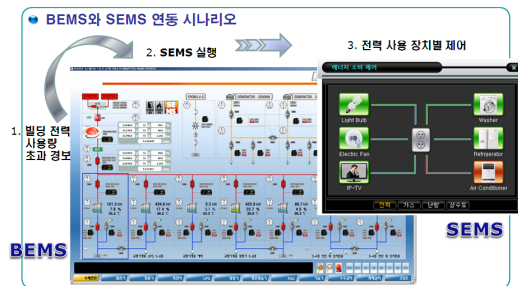


그림 1. BEMS-SEMS 연동 시나리오
Fig 1. BEMS-SEMS Interworking Scenario

본 논문에서는 빌딩관리에서 스마트미터, 즉 노드가 데이터 전송 시 기존 ZigBee 분산 주소 할당 기법의 문제점을 향상시키기 위해 (x, y) 또는 (x, y, z) 좌표 값을 이용한 알고리즘은 제안한다. 제안한 알고리즘은 ZigBee 네트워크의 16

비트의 주소를 (x, y) 또는 (x, y, z) 좌표를 이용하여 16비트 연산을 다 하는 것이 아니라, 할당된 비트만큼의 연산만을 하기 때문에 향상된 연산 속도를 가질 수 있으며, 라우팅 시 거리 벡터 알고리즘이 아닌 위치 기반 라우팅 알고리즘을 사용함으로써 멀티 홉 수의 감소시킬 수 있기 때문에 스마트 그리드 환경에서 좀 더 향상된 전송률을 기대할 수 있다.

II. 관련 연구

1. 관련연구

1.1 ZigBee Network

ZigBee 네트워크를 구성하는 노드는 라우팅 기능을 갖는 코디네이터, 라우터와 라우팅 기능을 갖지 않는 end device로 구분된다. 코디네이터는 라우팅 기능뿐만 아니라 네트워크를 시작하는 역할을 한다. 라우터는 라우팅 기능을 가지고 있기 때문에 중간 노드로서의 역할을 수행하며 하위 자식노드를 소유할 수 있다. 반면 end device는 라우팅 기능을 가지지 않기 때문에 하위에 자식노드를 가질 수 없고 sleep 모드를 이용하여 에너지 소모를 감소시키는 기능을 갖는다. ZigBee 표준에서 제정되어 있는 라우팅 알고리즘으로써 IEEE 802.15.4 MAC이 beacon-enable mode일 경우 Tree routing 기법을 이용하고, non-beacon mode일 경우에는 mesh routing 기법을 사용하도록 권장하고 있다. ZigBee 트리 라우팅 네트워크는 부모-자식 관계를 통해 트리 구조로 구성된다. 가장 먼저 코디네이터가 상위 부모 노드로 지정되고 나머지 하위 노드들이 방사형으로 코디네이터에 가까운 자식노드부터 위치하게 된다.

1.2 ZigBee Network 분산 주소 할당 기법

기본적으로 트리 라우팅 기법은 분산 주소 할당 기법에 의해 동작한다. 코디네이터와 라우터는 네트워크에 참여하기 위해 자신에게 접속을 요청하는 새로운 노드에게 16bit 주소를 할당하며 $2^{16} = 65536$ 개의 노드를 할당할 수 있다. 이 주소는 네트워크 내에서 라우팅을 위한 유일한 주소가 된다. 자식 노드에게 주소 할당이 가능한 코디네이터나 라우터는 자신의 네트워크 깊이에 따라 할당 가능한 주소범위를 갖게 되는데 이는 *Cskip* 알고리즘을 통해 계산하게 된다.

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

식 (1)에서 나타내는 변수 값들은 아래 표 1과 같다. 깊이가 결정되어 있고, 최대 자식의 개수와 노드가 가질 수 있는 최대 라우터의 개수가 정해져 있을 때 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 주소를 분산적으로 할당할 수 있고, *Cskip* 알고리즘을 통해 해당 노드가 할당할 수 있는 노드의 주소 블록 범위를 구하게 되며 새로운 노드의 접속을 수락한 부모노드는 식 (2)에 따라서 주소를 할당한다.

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

표 1. 식(1)에 대한 변수 정리
Table 1. Variables for Equation

변수	의미
<i>Cskip</i> (<i>d</i>)	해당 노드가 할당할 수 있는 주소 블록 범위
<i>C_m</i>	각 노드가 가질 수 있는 최대 자식 개수
<i>L_m</i>	네트워크 최대 depth
<i>R_m</i>	자식으로 가질 수 있는 최대 라우터 개수
<i>d</i>	자신의 네트워크 depth

Cskip 알고리즘을 통해 해당 노드가 할당할 수 있는 노드의 주소 블록 범위를 구하게 되며 새로운 노드의 접속을 수락한 부모노드는 식 (2)에 따라서 주소를 할당한다.

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

Tree 라우팅 알고리즘은 별도의 라우팅 테이블 없이 분산 주소 할당 기법과 간단한 계산식을 통해 데이터를 전송하는 방식이다. 오로지 부모 노드나 자식 노드로만 데이터를 전송하는 약점을 지니고 있다.

식 (2)에 대한 변수를 정리하면 표 2와 같다.

표 2. 식(2)에 대한 변수 정리
Table 2. Variables for Equation (2)

변수	의미
<i>A_n</i>	새로운 노드에 부여할 주소
<i>A_{parent}</i>	주소를 할당하는 부모의 주소
<i>m</i>	현재 부모 노드가 가지고 있는 router 개수

식 (2)를 통해 주소를 할당할 후 어느 한 라우터가 자식노드로부터 통신하고자 하는 목적지 주소를 받았을 때 식 (3)이 성립을 하면 자신의 다른 자식들에게 이 데이터를 전송하고 성립하지 않으면 이 값을 부모 노드에게 전송한다.⁽⁸⁾ 이 데이터를 받은 부모 노드는 이 같은 작업을 반복하며 트리 라우팅

이 이루어진다. 여기서 A_r 은 라우터 자신의 주소이며 D는 목적지 주소를 의미한다.

$$A_r < D < A_r + Cskip(d-1) \tag{3}$$

그림 2와 표 3은 각 노드가 가질 수 있는 최대 자식 노드의 개수가 4이고, 자식으로 가질 수 있는 최대 라우터의 개수가 4이며, 네트워크의 최대 depth가 3일 때의 주소 할당 예를 보여 주고 있다

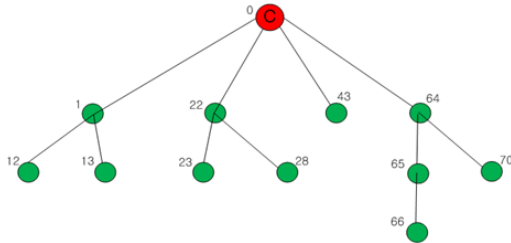


그림 2. $C_m = R_m = 4, L_m = 3$ 일 때의 주소 할당
Fig. 2. Address allocation when $C_m = R_m = 4$ and $L_m = 3$

표 3. $C_m = R_m = 4, L_m = 3$ 일 때의 $Cskip(d)$
Table 3. $Cskip(d)$ when $C_m = R_m = 4, L_m = 3$

D	$Cskip(d)$
0	21
1	5
2	1
3	0

이 예제에서 볼 때 현재의 깊이 d가 0일 때 $Cskip(0)$ 의 값이 식 (1)에 의해서 21이 된다. 코디네이터는 0번으로 주소가 할당되어 자식 노드의 주소를 할당할 때 첫 번째 자식 노드의 주소를 자신의 주소에 1을 더해서 주소 값을 1로 할당을 한다. 두 번째 자식의 주소 값을 $Cskip(0)$ 값인 21에 자신의 주소인 1을 더해서 22를 할당하는 방식으로 첫 번째 깊이의 주소 값을 할당한다. 이와 같은 방식으로 두 번째 깊이의 주소 값을 할당할 경우도 마찬가지로 $Cskip(1)$ 값을 이용하여 첫 번째 깊이에 있는 노드의 주소를 할당할 때와 같은 방식으로 할당한다. 하지만 각 21개씩의 주소 범위를 할당 하였음에도 불구하고 그림 2에서처럼 하나의 라우터가 가지는 자식 센서 노드 개수가 주소 블록 범위만큼 할당되지 않는다면 그만큼의 주소 공간의 낭비를 초래하게 된다. 때문에 이러한 주소 공간 낭비의 해결을 위한 새로운 주소 할당 방식이 제안 되고 있다.

1.3 LAA (Last Address Assigned) 기법

유선에서는 트리 형식으로 거리에 상관없이 선으로 연결을 하면 통신이 이루어진다. 하지만 ZigBee 통신은 무선 통신이기 때문에 공간에 대한 성분을 고려해야 한다. 이러한 문제점을 개선하고자 제안된 LAA 알고리즘은 코디네이터나 라우터가 새로운 노드에 주소를 할당할 때에 라우팅 테이블에 마지막 주소 값을 저장하게 되며 추가되는 노드에 이어서 주소 값을 할당하게 된다. 그림 3과 표 4는 각 노드가 가질 수 있는 최대 자식 노드의 개수가 4이고, 자식으로 가질 수 있는 최대 라우터의 개수가 2이며, 네트워크의 최대 depth가 3일 때의 주소 할당 예를 보여 주고 있다. 이 예제에서 볼 때 현재의 깊이 d가 0일 때 $Cskip(0)$ 의 값이 식 (1)에 의해서 13이 된다.

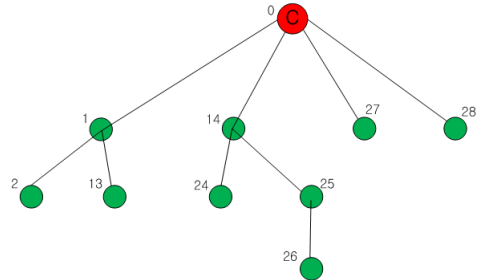


그림 3. $C_m = 4, R_m = 2, L_m = 3$ 일 때의 주소 할당
Fig. 3. Address allocation when $C_m = 4, R_m = 2, L_m = 3$

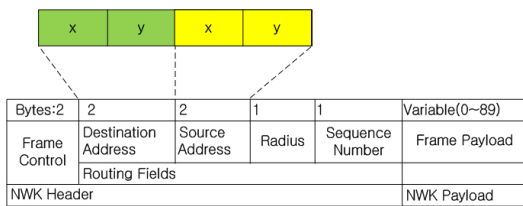
표 4. $C_m = 4, R_m = 2, L_m = 3$ 일 때의 $Cskip(d)$
Table 4. $Cskip(d)$ when $C_m = 4, R_m = 2, L_m = 3$

D	$Cskip(d)$
0	13
1	5
2	1
3	0

라우터의 개수가 줄어들므로써 $Cskip(0)$ 값이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 또한 코디네이터가 처음 할당한 1번 라우터의 자식노드 주소가 13번까지 할당되었다면 그 다음 추가된 라우터에는 14의 주소 값을 이어서 할당되는 것을 볼 수 있다. 예를 들어 2번 노드에서 26번 노드로 데이터를 보낸다고 가정하면 2→1→0→14→24→14→25→26의 순서로 검색하게 된다. 14번 주소를 갖는 라우터는 24, 25의 주소 값만을 기억하기 때문에 25번 라우터가 가지는 26번 센서노드를 찾을 수 없다. 때문에 주소공간의 낭비를 줄일 수 있지만 최하위 노드까지 내려와야 하는 단점으로 인해 불필요한 홉 카운트가 발생하게 된다. 이러한 방식은 네트워크 크기가 커짐에 따라 빈번한 충돌을 가질 수 있는 단점을 가진다.

1.4 (x, y) 좌표축 주소 할당 기법

(x, y) 알고리즘은 ZigBee 네트워크의 주소 공간 할당 낭비를 줄이기 위해 그림 4와 같이 Destination Address와 Source Address의 2Byte의 주소를 각각 (x, y) 좌표 값을 유동적으로 할당하여 사용한다. 하지만 일반 아파트의 경우 (x, y) 좌표 값이 효율적일 수 있으나 대형 건물의 경우 2차원인 아닌 3차원 좌표로 고려되어야 한다. 또한 고정 벡터 라우팅의 경우 멀티 홉 수는 오히려 늘어날 수 있다는 단점을 가지고 있다.



Proposed Network Framework

그림 4. 제안하는 네트워크 계층의 (x, y) 프레임 형식
Fig. 4. The network layer (x, y) frame format of the proposed

III. 본 론

1. 제안하는 네트워크 계층의 프레임 구조

기존 ZigBee network에서 사용하는 네트워크 계층의 프레임은 그림 5와 같고, 네트워크에서 사용하는 주소 필드는 총 4Byte가 할당되며 Destination Address와 Source Address에 각각 2Byte씩 할당하여 사용한다. 따라서 그림 6에서와 같이 Destination, Source 노드는 각 16bit씩 할당 가능한 주소 범위를 가지며 총 65536개의 node를 할당할 수 있다.

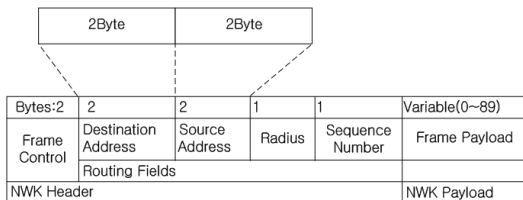


그림 5. 네트워크 계층의 프레임 형식
Fig. 5. The network layer frame format

하지만 무선 통신 환경에서 공간에 대한 성분을 충분히 고려해야 하며 65536개의 할당된 노드가 충족되지 않는다면 주소 공간의 낭비를 가져온다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 그림 4과 그림 6에서와 같이 16비트의 주소공간을 (x, y) 또는 (x, y, z) 좌표 값을 유동적으로 주소 공간을 할당하여 사용한다. 고정된 네트워크에서 관리자는 각 센서노드의 위치를 사전에 알고 있기에 각 센서에 맞는 좌표 값을 유동적으로 할당할 수 있다.

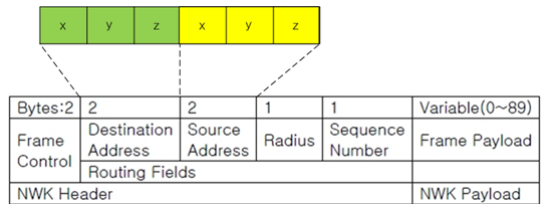


그림 6. 제안하는 네트워크 계층의 (x, y, z) 프레임 형식
Fig. 6. The network layer (x, y, z) frame format of the proposed

2. 제안하는 주소할당 방법

ZigBee 센서 네트워크는 계층적인 구조로 되어 있으므로 통신 경로를 설정해 주어야 한다. 그러기 위해서는 관리자가 임의로 일정한 노드에 라우팅 기능과 센싱 기능을 동시에 하는 디바이스인 FFD(Full Function Device)를 두고 나머지 노드에는 센싱 기능만을 하는 RFD(Reduced Function Device)를 둔다. 제안하는 좌표 라우팅 알고리즘은 일반적인 건물인 2차원 평면과 각 층에 상가나 기타 사무실 등이 많아 층당 다수의 미터기가 설치되어야 하는 3차원 공간에서의 위치 기반 주소할당 방법이다.

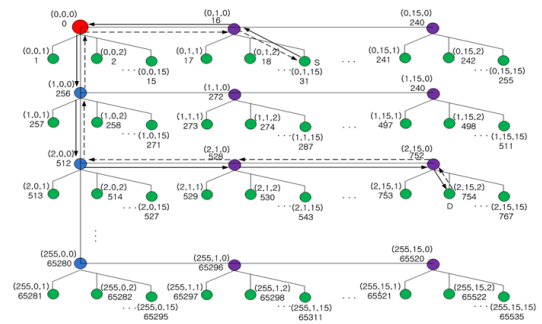


그림 7. 좌표 평면상에서의 (x, y, z) 라우팅
Fig. 11. (x, y, z) routing over the coordinate plane

그림 7은 (x, y, z) 좌표축을 평면상에 나타낸 그림이다. 코디네이터를 축으로 x축은 루트라우터, y축은 서브 라우터를 두어 각각의 FFD 장치들은 센서노드를 관리하게 된다. 예를 들어 소스노드(0, 1, 15)에서 목적지노드(2, 15, 0)으로 데이터를 보낸다면 소스에서는 패킷단위로 상위 서브라우터에 전송하여 라우팅을 시작한다. 하위 노드에게 데이터를 받은 서브라우터는 자신의 주소와 목적지 x축 값을 비교 후 자신의 값보다 크기 때문에 상위 코디네이터에게 전송하며 코디네이터에서는 x축 값에 상응하는 루트라우터에게 데이터를 보내게 된다. 데이터를 수신한 루트라우터는 y축 값이 일치하는 서브라우터에 다시 포워딩을 해주며 최종적으로 (2, 15, 0)의 주소 값을 가지는 서브라우터에서 z값 하나만을 판별 후 2번째 센서노드인 (2, 15, 2)에게로 전송을 하게 된다. 이 목적지 주소를 판별하는데 있어서 16bit 주소 필드 전체를 연산하지 않고 3가지 축으로 분할되어 있는 좌표 중 하나의 좌표 값을 가지고 라우팅을 수행하게 된다. 이로 인해 좀 더 빠르고 효율적인 홉 카운트를 가진다.

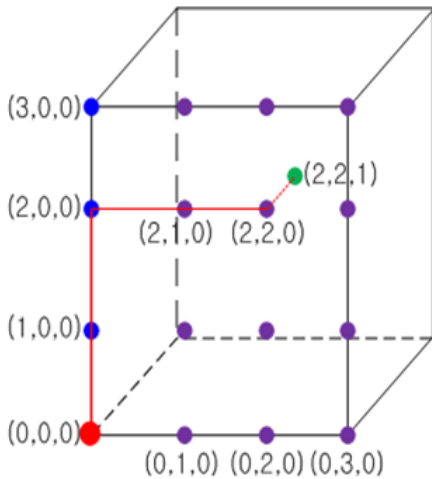


그림 8. (2, 2, z) 값을 적용한 입체 공간
Fig. 8. (2, 2, z) coordinates space applying the values

그림 8는 그림 7에서 보여준 좌표 평면상의 라우팅을 4층짜리 건물이나 빌딩 등 입체적인 공간에 적용한 예로 계층적 라우팅의 경로 벡터 측면에서 설명하고 있다. x축 값을 2로 할당하였기 때문에 $2^2=4$ 가 되어 코디네이터를 시작으로 각 층별로 루트라우터를 두고 서브라우터를 배치하여 관리함으로써 센서노드들을 더 효율적으로 관리 할 수 있다. 사전에 관리자는 건물을 설계하기 전에 미리 센서노드를 고정으로 설치할 수 있다. (0, 0, 0)에서 (2, 2, 1)로 데이터를 보낼 경

우 코디네이터는 x축 값을 확인한 후 해당 루트라우터 (2, 0, 0)에 전송, 루트라우터는 y축 값을 확인 후 해당 서브라우터 (2, 2, 0)으로 전송하게 되며 서브라우터에서 관리하는 z값이 1인 센서노드로 즉시 전송이 가능하다. 앞에서 설명한 (x, y, z) 좌표평면은 계층적 라우팅의 경로 벡터를 적용한 예를 보여주고 있다. ZigBee 계층적 라우팅에서는 최단경로 문제를 해결하기 위해서 거리 벡터와 경로 벡터 알고리즘을 제공한다. 현재까지는 거리 벡터 관점을 보았으며 차후 얼마든지 확장이 가능한 환경에서 경로 벡터를 적용할 수도 있다. 하지만 경로 벡터를 사용하였을 경우 아래 그림 13에 같이 멀티 홉 수가 오히려 증가할 수 있기 때문에 본 논문에서는 위치 기반 라우팅 알고리즘을 제안한다.

그림 9에서 적용한 좌표 값을 위치 기반상의 경로 벡터로 적용하였을 경우를 예로 들고 있다. 먼저 그림 12에서 설명한 거리 벡터 관점의 예를 들어 관찰하면, 그림 13의 (2, 0, 1)에서 (0, 3, 2)로 보낼 경우 축 값을 따라 7홉에 걸쳐가게 된다. 하지만 경로 벡터는 FFD 노드 스스로 자신에게 가까운 또 다른 FFD 노드를 검색하여 주소를 저장하고 있기 때문에 총 5홉으로 좀 더 효율적인 단축 경로를 설정할 수 있다. 때문에 거리 벡터에서보다 경로 벡터를 적용하였을 때 2홉이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

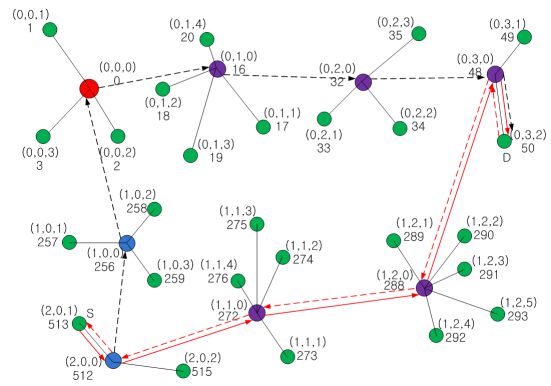


그림 9. (x, y, z) 좌표상의 위치 기반 경로벡터
Fig. 13. (x, y, z) coordinates on a location-based path vector

그림 10은 평면상의 라우팅을 4층짜리 건물이나 빌딩 등에 경로 벡터를 적용한 경우를 예로 들었다. 거리 벡터 기반을 하였을 경우 x축으로 2홉, y축으로 2홉, z축으로 1홉을 거치게 되므로 모두 7홉을 거치게 되지만 초기 설정과정에서 위치를 인식하는 노드들이 경로 벡터를 사용하여 근접 테이블에서 라우팅 주소를 검색하여 최소한의 홉을 가지는 경로를

설정할 수 있다. 따라서 그림 10와 같이 경로 벡터를 사용할 경우 3축에 도달할 수 있게 된다.

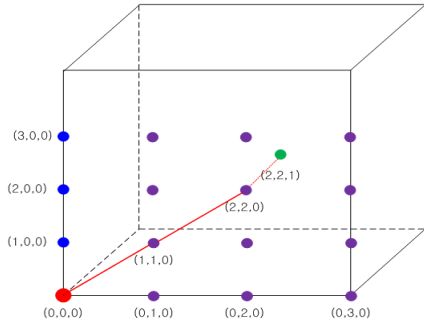


그림 10. (x, y, z) 좌표상의 위치 기반 경로벡터
Fig. 10. (x, y, z) coordinates on a location-based path vector

따라서 새로운 주소 할당 방식인 (x, y, z) 좌표 값 주소 할당 방식과 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘의 라우팅 흐름도는 그림 11과 같다. 여기서, F_x, F_y, F_z 는 FFD 장치의 (x, y, z) 좌표 값이고, D_x, D_y, D_z 는 최종 목적지의 (x, y, z) 좌표 값이다. 그리고 X_1, Y_1, Z_1 은 송신하려는 FFD 장치의 (x, y, z) 좌표 값이고, X_2, Y_2, Z_2 는 수신 가능한 FFD 장치의 (x, y, z) 좌표 값이다.

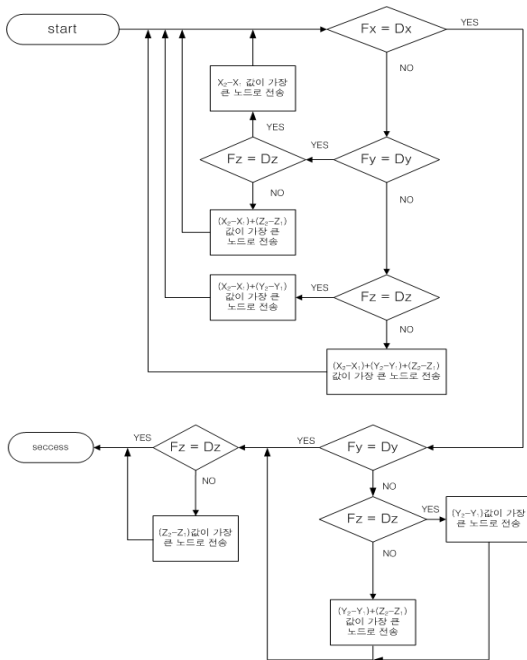


그림 11. (x, y, z) 좌표 라우팅 흐름도
Fig 11. (x, y, z) coordinates routing Flow

이벤트가 발생한 센서노드는 가장 먼저 상위 FFD 장치로 데이터를 전송하며 순차적으로 (x, y, z) 좌표 값을 각각 연산 후 그것을 따라 라우팅 경로를 설정한다. 처음 데이터를 수신한 FFD는 (x, y, z) 좌표 값을 순차적으로 비교하여 모두 일치하면 알고리즘은 종료된다. 만일 x, y 값은 일치하나 z 값이 불일치하면 $|Z_2 - Z_1|$ 값을 통해 감지되는 노드 중 z 값이 가장 멀리 있는 노드로 전송된다. x, z 좌표의 값이 일치하고, y 좌표 값이 불일치 할 경우 $|Y_2 - Y_1|$ 값을 통해 감지되는 노드 중 y 값이 가장 멀리 있는 노드로 전송되고, x 좌표의 값이 일치하고, y, z 좌표 값이 불일치 할 경우 $|Y_2 - Y_1| + |Z_2 - Z_1|$ 값을 통해 감지되는 노드 중 y, z 좌표 값이 가장 멀리 있는 노드로 전송된다. 마찬가지로 x 좌표의 값이 불일치하고, y, z 좌표 값이 일치할 경우 $|X_2 - X_1|$ 값을 통해 감지되는 노드 중 x 값이 가장 멀리 있는 노드로 전송되고, x, z 좌표의 값이 불일치하고, y 좌표 값이 일치 할 경우 $|X_2 - X_1| + |Z_2 - Z_1|$ 값을 통해 감지되는 노드 중 x, z 좌표 값이 가장 멀리 있는 노드로 전송되고, x, y 좌표의 값이 불일치하고, z 좌표 값이 일치 할 경우 $|X_2 - X_1| + |Y_2 - Y_1|$ 값을 통해 감지되는 노드 중 y, z 좌표 값이 가장 멀리 있는 노드로 전송되고, x, y, z 좌표 값이 모두 틀릴 경우 $|X_2 - X_1| + |Y_2 - Y_1| + |Z_2 - Z_1|$ 값을 통해 감지되는 노드 중 x, y, z 좌표 값이 가장 멀리 있는 노드로 전송된다. 이와 같은 과정을 반복 수행하여 마지막 노드까지 최단 홉 수로 도달할 수 있다.

IV. 성능 평가

1. 구성도

그림 12는 한전KDN, IBM, ETRI이 공동으로 개발중인 스마트 에너지 시스템 (Smart Energy System) 구성도이다.

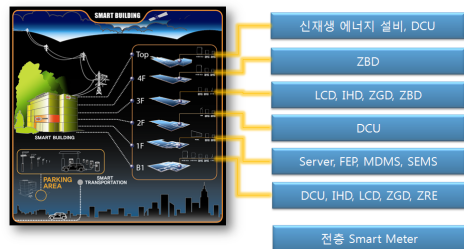


그림 12. 스마트 빌딩 구성도
Fig. 12. Smart Building Diagram

그림 12 스마트 빌딩 구성도에서 해당 장비로는 다음과 같다.

- A. Smart Meter
 - 층간 전력사용량 측정
- B. DCU (Data Control Unit)
 - 미터의 전력사용량을 FEP로 전송
- C. IHD (In Home Display)
 - 사용자에게 전력사용량 제공 및 부하제어 기능
- D. LCD (Load Control Unit)
 - 조명과 부하의 사용량 제어
- E. ZGD (ZigBee Gateway Device)
 - LCD의 전력사용량을 SEM로 전송

- G. FEP (Front End Processor)
 - DCU의 데이터를 SEM으로 전송
- H. SES (Smart Energy System)
 - 수용가의 전력사용량 데이터를 관리 및 제어
- I. MDS (Meter Data Management System)
 - 수용가의 전력사용량 데이터 분석 및 예측
- J. SEMS (Smart Energy Management System)
 - 가전 부하의 전력사용량 관리 및 제어

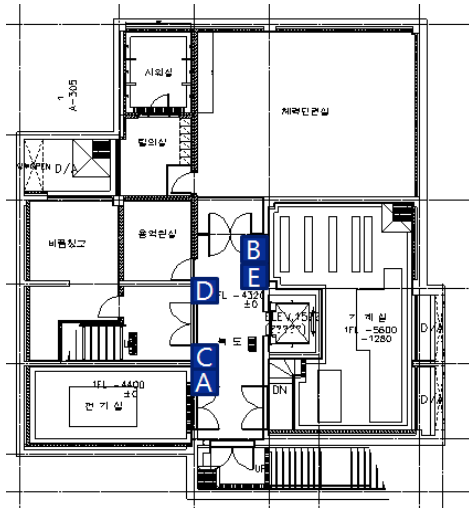


그림 13. 스마트 빌딩 구성도
Fig. 13. Smart Building Diagram

그림 13은 스마트 빌딩 중 지하층에 해당되며 지하설비 장 비로는 다음과 같다.

- A. Smart Meter
 - 층간 전력사용량 측정
- B. DCU (Data Control Unit)
 - 미터의 전력사용량을 FEP로 전송
- C. IHD (In Home Display)
 - 사용자에게 전력사용량 제공 및 부하제어 기능
- D. LCD (Load Control Unit)
 - 조명과 부하의 사용량 제어
- E. ZGD (ZigBee Gateway Device)
 - LCD의 전력사용량을 SEM로 전송
- F. Smart Meter
 - 층간 전력사용량 측정

2. 성능 평가 환경

본 논문에서 제안한 (x, y, z) 좌표 값을 적용한 주소 할당 방식을 ZigBee 분산 주소 할당 방식인 C_{skip} 알고리즘과 평균 멀티 홉의 수의 차이를 비교하였다. 라우팅을 하는데 있어서 몇 홉을 거쳐서 가느냐에 따라 그만큼 라우팅 비용이 소요 된다. 통신을 할 수 있는 한도 내에서 홉 수가 적을수록 효율적인 라우팅 기법이라 말할 수 있다. 공정한 성능 평가 알고리즘을 위해 밀집한 지역에 동일한 노드의 수를 설정하였으며 최대 네트워크 크기가 65536개일 경우와 255개로 감소시켰을 때의 멀티 홉을 각각 비교하였다. 홉 카운트 수는 두 개 임의의 노드 사이 경로를 말하며 평균 홉 카운트는 하나의 임의 노드에서 다른 임의의 노드까지 모든 홉 카운트의 합계이다. 건물을 초기 설계할 때 관리자는 사전에 센서 노드의 위치 정보를 적절한 (x, y, z) 좌표 값을 주어 할당한다. 할당된 bit 는 x축을 루트 라우터, y축은 서브 라우터, z축은 일반적인 센서 노드에 대한 값을 의미하며 다음 식(4)에 따라 각각의 루트 라우터 노드 수와 센서 노드의 수를 구성하게 된다.

$$\begin{aligned}
 2^x - 1 &: \text{루트 라우터 노드의 개수} \\
 2^x \times (2^y - 1) &: \text{서브라우터 노드의 개수} \\
 2^x \times 2^y \times (2^z - 1) &: \text{센서 노드의 개수} \quad (4)
 \end{aligned}$$

2. 성능 평가

표 5와 그림 14는 최대 65536개 노드를 배치하였을 경우 기존 ZigBee 분산 주소 할당 기법 C_{skip} 알고리즘과 제안한 (x, y, z) 좌표 할당 기법 알고리즘을 비교한 것이다.

표 5. 평균 홉 수 비교표(노드 65535)
Table 5. The comparison table of the average hops(node 65535)

노드 수	C_{skip} 알고리즘 평균 홉 수	(x,y)좌표 평균 홉 수	(x,y,z)좌표 평균 홉 수
15	3.5	3.0	2.4
31	5.0	3.9	2.8
63	6.6	4.4	3.1
127	8.4	5.1	3.4
255	10.2	5.9	3.7
511	12.1	6.6	4.0
1023	14.1	7.3	4.6
2047	16.0	8.0	4.9
4095	18.0	8.6	5.2
8191	20.0	9.3	5.9
16383	22.0	10.0	6.6
32767	24.0	10.7	7.1
65535	26.0	11.3	7.8

식 (4)에서 (8, 8, 4)의 좌표를 할당하여 16bit 주소 범위를 모두 사용하였을 경우이다. x 값을 8bit로 주었을 경우 $2^8 = 256$ 에서 코디네이터 값인 1을 빼고 255개의 루트 라우터의 수를 할당 할 수 있으며, 서브라우터와 하위 센서 노드 역시 같은 방법으로 할당할 수 있다.

- $2^8 - 1$: 루트 라우터 노드의 개수
- $2^8 \times (2^8 - 1)$: 서브라우터 노드의 개수
- $2^8 \times 2^8 \times (2^4 - 1)$: 센서 노드의 개수 (5)

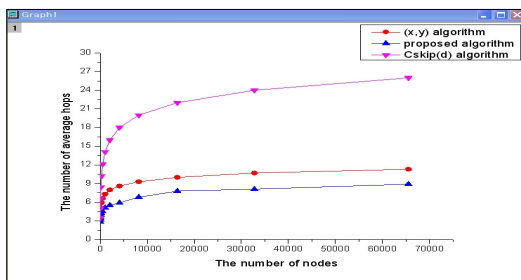


그림 14. (8, 4, 4) 좌표 총 65,536개 노드
Fig. 14. (8, 4, 4) coordinate the total node 65,536

그림 14를 보면 제안한 방식이 ZigBee 분산 주소 할당 기법 C_{skip} 알고리즘에 비해 현저하게 멀티 홉의 수가 감소하는 것을 볼 수 있다.

표 6. 평균 홉 수 비교표(노드 255)
Table 6. The comparison table of the average hops(node 255)

노드 수	(x, y)좌표 평균 홉 수	(x,y,z)좌표 평균 홉 수
3	2	2
7	2.7	2.4
15	3	2.7
31	3.9	3.1
63	4.4	3.5
127	5.1	3.9
255	5.9	4.2

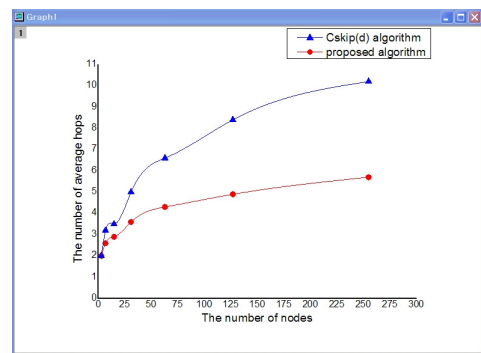


그림 15. (4, 2, 2) 좌표 총 255개 노드
Fig. 15. (4, 2, 2) coordinate the total node 255

표 6과 그림 15는 최대 노드 개수를 255로 범위를 좁혀 배치하였을 경우 기존 알고리즘과 평균 홉 차이를 비교한 것이다.

그림 20은 빌딩환경에서 스마트 미터기가 최대 255개까지를 고려하여 실험한 결과 값이다. 제안한 방식이 기존 ZigBee 분산 주소 할당 기법 C_{skip} 알고리즘과 비교 하였을 경우 평균 3.8홉 정도 감소하는 것을 볼 수 있다.

V. 성능 평가

본 논문에서는 빌딩관리에서 스마트미터, 즉 노드가 데이터 전송 시 기존 ZigBee 분산 주소 할당 기법의 문제점을 향상시키기 위해 (x, y) 또는 (x, y, z) 좌표 값을 이용한 알고리즘은 제안한다. 제안한 알고리즘은 ZigBee 네트워크의 16

비트의 주소를 (x, y) 또는 (x, y, z) 좌표를 이용하여 16비트 연산을 다 하는 것이 아니라, 할당된 비트만큼의 연산만을 하기 때문에 향상된 연산 속도를 가질 수 있으며, 라우팅 시 거리 벡터 알고리즘이 아닌 위치 기반 라우팅 알고리즘을 사용함으로써 멀티 홉 수의 감소시킬 수 있기 때문에 스마트 그리드 환경에서 좀 더 향상된 전송률을 기대할 수 있다..

라우팅 연산을 수행할 때 적은 비트 연산이 수행되며 짧은 전달 경로를 갖기 때문에 노드의 에너지 감소와 네트워크의 트래픽 감소가 이루어진다. 현재 Smart Grid 산업이 대두되고 있는 가운데 국내의 경우 2010~2030년까지의 추진 계획이 세워져 있다. 향후 각종 빌딩이나 아파트 등 여러 환경의 건물 등에 적용하였을 경우 효율적인 홉 수와 전송속도를 기대할 수 있을 것이라 사료된다.

참고문헌

[1] <http://smartgrid.ieee.org/www.ksel.org>
 [2] National Energy Technology Laboratory for the U.S. Department of Energy Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, Advanced Metering Infrastructure , February 2008.
 [3] <http://www.nist.gov/smartgrid/>
 [4] "Wireless Medium Access Control and Layer Specifications of Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)," IEEE Std 802.15.4-2003, IEEE Computer Society, 01 Oct., 2003.
 [5] 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.
 [6] T. kim and D. kim, "Shortcut Tree Routing in ZigBee Networks," Int. Symposium on Wireless Pervasive Computing, Feb., 2007.
 [7] 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.
 [8] K. Khamforoosh and H. Kamforroush, "A New Routing Algorithm for Energy Reducetion in Wireless Sensor Networks," IEEE, pp. 505-509, 2009.

[9] ZigBee Alliance, ZigBee-2007 Specification: ZigBee Document 053474r17, Jan., 2008.
 [10] U.S. Department of Energy, National Energy Technology Lab., Modern Grid Initiative, [http](http://www.nrel.gov).
 [11] Wikipedia encyclopedia, Smart Grid. May, 2009.
 [12] Sung-Hwan Bae, Ja-Hee Kim, Han-Seung LEE, " A Study on Nex Power Business Model Using Power Information Technology" Journal of Electrical Engineering & Technology Vol.5, No.3 pp. 379~388, 2010.
 [13] IEC 61968-9, "Interface Standard for Meter Reading & Control", 2010.

저 자 소 개



임 송 빈
 2004 : 광운대학교
 전자통신공학과 공학석사
 2009 : 광운대학교
 전자통신공학과 공학박사수료
 현 재 : 신홍대학
 전자통신공학과 겸임교수
 관심분야 : SmartGrid,
 Zigbee Security
 Email : songbine@hotmail.com



김 화 성
 1996 : Ph.D Lehigh University
 (Computer Science)
 현 재 : 광운대학교
 전자통신공학과 정교수
 Email : hwkim@kw.ac.kr



오 영 환
 1993 : 인하대학교
 전자공학과 공학박사
 현 재 : 광운대학교
 전자통신공학과 정교수
 Email : 11980002@kw.ac.kr