

계층구조의 센서 네트워크에서 동적 주소 할당과 라우팅 알고리즘

이혜찬, 홍충선

경희대학교 컴퓨터공학과

e-mail : hcllee@networking.khu.ac.kr, cshong@khu.ac.kr

A Dynamic Addressing and Routing for Hierarchical Sensor Network

Hye Chan Lee, Choong Seon Hong

Dept. of Computer Engineering, Kyung Hee University

요 약

센서 네트워크는 제한된 메모리나 컴퓨팅 능력을 통해 저 전력 무선 통신을 가능하게 하는 기술이다. 센서 네트워크는 기본적으로 애드-혹 개념의 네트워크로 동작하며 필요에 따라 계층구조에서 동작을 한다. 현재 Zigbee 나 6LoWPAN 에서 계층구조에서는 복잡한 수식을 이용하여 동적으로 로컬 주소를 할당 하였으며 라우팅 알고리즘 또한 수식을 반복적으로 계산함으로써 불필요한 연산으로 인해 경로 설정 시 지연 시간이 크고 에너지 낭비가 크다는 단점이 있었다. 이에 본 논문에서는 계층구조의 센서 네트워크에서 보다 간단하게 로컬 주소를 할당하는 메커니즘과 할당된 로컬 주소의 특징을 이용하여 간단하면서 빠른 라우팅 알고리즘을 제안하였다.

1. 서론

센서 네트워크는 각 센서 노드들이 저가격, 제한된 메모리와 컴퓨팅 능력을 가지며 작은 사이즈의 안테나로 저 전력의 통신을 가능하게 하는 기술이다. 기존 네트워크 장치들과 달리 수백 혹은 수천 개 이상의 센서 노드들이 무작위로 배치되어 센서 노드간에 통신을 위해 그들 스스로 네트워크를 형성하는 애드-혹 개념의 네트워크이다[1][2].

IEEE802.15.4[3]는 제한된 출력과 성능으로 간단한 단거리 무선 통신을 필요로 하는 폭넓은 응용에 사용될 수 있도록 설계되었으며 이는 무선 센서 네트워크 환경을 구축하기에 가장 적합한 기술이라고 할 수 있다. 현재 무선 센서 네트워크는 IEEE 802.15.4 의 PHY 와 MAC 계층 위에 ZigBee Alliance[4]에서 새롭게 설계한 Network 계층과 Transport 계층을 올려 센서 네트워크를 구현하여 상용화 하고 있으며 IETF WG 인 6LoWPAN 에서는 Adaptation 계층을 추가하여 기존에 사용하고 있는 Network, Transport 계층을 그대로 유지하면서 무선 센서 네트워크를 구현하는 방안을 표준화 작업 중에 있다[5].

ZigBee 와 6LoWPAN 은 PAN 내부에서 64 비트 MAC 주소 외에 로컬 주소로 16 비트 짧은 주소를 할당하여 내부에서 센서들간에 통신을 할 때 짧은 주소를 이용하여 헤더 사이즈를 줄임으로써 센서의 오버헤드를 줄이고 있다[6][7].

ZigBee 는 라우팅을 할 때 AODV 방식을 기본으로 사용하고 있으며 센서가 메모리 부족이나 갑자기 경로를 잃는 등의 이유로 일시적으로 AODV 를 지원할 수 없을 때 계층구조 라우팅을 선택한다. 또 현재 표준화 중인 6LoWPAN 앞으로 이와 같은 라우팅 방식을 지원할 것으로 생각된다.

이에 본 논문에서는 계층 구조를 갖춘 센서 네트워크에서 16 비트의 짧은 주소를 동적으로 할당하는 메커니즘과 라우팅 알고리즘을 제안하였다. 이 방법을 통해 에너지 효율적 측면에서 더욱 향상된 동작을 할 뿐만 아니라 라우팅에 과정에서 지연을 줄일 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2 장에서는 기존 ZigBee 와 6LoWPAN 에서 사용하는 계층구조의 짧은 주소 할당 메커니즘과 라우팅 알고리즘을 살펴보고, 3 장에서는 제안하는 있는 동적 주소 할당 메커니즘과 라우팅 알고리즘을 설명한다. 4 장에서 제안사항에 대한 성능평가를 보고 마지막 5 장에서 결론 및 향후 과제에 대한 내용을 제시하였다.

이 논문은 2006 년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국 학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-521-D00394) Dr.홍충선은 교신저자임.

2. 기존 IEEE802.15.4 기반 계층구조

이번 절에서는 IEEE802.15.4 기반에서 계층구조에서 동적 주소 할당과 라우팅에 대해 ZigBee 에서 제안하고 사용 중인방법과 6LoWPAN WG 에서 인터넷 드레프트로 제안되었던 내용을 살펴보겠다.

2.1 계층구조 ZigBee 의 라우팅

계층구조의 ZigBee 라우팅[4]은 깊이 우선 알고리즘을 이용하여 코디네이터부터 자식들까지 순차적으로 주소를 할당하게 된다. ZigBee 네트워크가 형성하기 전에 코디네이터는 자신의 짧은 주소를 0 으로 초기화 하고 자신의 네트워크에서 한 노드가 가질 수 있는 최대 자식의 개수(Cm)와 자식으로 가질 수 있는 최대 ZigBee 라우터 개수(Rm) 그리고 네트워크 트리의 최대 깊이(Lm)를 결정한다. ZigBee 네트워크에서 라우터 기능이 있는 모든 노드는 자신의 깊이 d 와 [수식 1]로 계산된 Cskip(d)을 알고 있다. Cskip(d)은 깊이 d 의 노드에게 참여하고 있는 자식들의 짧은 주소 차이를 나타내는 값이다. 만약, Cm=3, Rm=3, Lm=3 인 네트워크에서 코디네이터에 처음으로 한 노드가 참여를 하면 자신의 주소에 1 을 증가시킨 즉, 짧은 주소 1 을 그 노드에게 할당 하게 된다. 두 번째로 참여하는 노드에게는 자신의 Cskip(d)이 13 이므로 첫 번째 노드주소에 13 을 더한 14 을 짧은 주소로 할당한다. 세 번째 노드는 27 로 할당 될 것이다.

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

위에서 살펴보았듯이 ZigBee 계층 구조의 짧은 주소 할당은 논리적인 수식을 통해 할당되기 때문에 데이터 프레임의 목적지 주소 D 가 [수식 2]를 만족한다면 목적지는 자신의 자손들 중에 하나라는 것을 알 수 있다. 노드는 [수식 2]를 재귀적으로 자식들에게 적용시켜 자신의 자식들 중 목적지를 자손으로 가질 것으로 유추되는 노드에게 데이터 프레임을 전달 한다. [수식 2]가 만족하지 않으면 부모에게 전달한다.

$$A < D < A + Cskip(d - 1) \quad \text{[수식 2]}$$

2.2 계층구조 6LoWPAN 의 라우팅

계층구조의 6LoWPAN 의 라우팅인 HiLow[8]은 ZigBee 와 차별화를 두고 너비 우선 알고리즘을 이용하여 코디네이터로부터 자식들까지 순차적으로 짧은 주소를 할당한다. 6LoWPAN 네트워크를 형성하기 전에 코디네이터는 자신의 짧은 주소를 0 으로 초기화 하고 자신의 네트워크에서 한 노드가 가질 수 있는 최대 자식의 개수(MC)를 결정한다. 노드가 부모노드에게 참여하여 짧은 주소를 요청할 때 다음 [수식 3]에 의해 부모노드로부터 새로운 짧은 주소를 받게 된다.

$$AC_n = MC \times A_p + n \quad \text{[수식 3]}$$

여기서 n 은 부모노드에게 조인하는 자식노드의 순서이며 ACn 는 부모노드에 n 번째 조인하여 할당되는 자식의 주소이고, Ap 는 주소를 할당하는 부모노드의 주소가 된다.

6LoWPAN 의 노드가 라우팅을 할 때 라우터는 목적 노드의 깊이 D 를 [수식 4]를 통해 유추한다.

1. 라우터보다 낮은 깊이이면 부모에게 전달
2. 같은 깊이지만 자신이 아니면 부모에게 전달
3. 깊이가 더 깊다면 수식 3 을 통해 손자들 중에 목적 노드가 있는지를 유추하고 있다면 적절한 자식으로 전달하고 없다면 부모에게 전달

$$AC_n = MC^n \cdot n + AP \quad \text{[수식 4]}$$

3. 계층구조의 센서 네트워크

본 논문에서 제안하는 동적 주소 할당 메커니즘은 ZigBee 나 기존에 6LoWPAN WG 에서 제안되었던 복잡한 수식을 이용한 방식과 달리 간단한 비트연산만으로 새로운 주소를 생성하여 할당하는 방식이다. 또, 본 논문에서 제안하는 라우팅 알고리즘 역시 기존 방식에서 수식을 이용하여 경로를 유추하는 것과 달리 목적지 주소의 비트를 관찰함으로써 경로를 결정한다.

3.1 용어정리

논문에서 새롭게 나오는 용어들을 간략하게 정리하겠다.

- ND(Network Determining Number): 네트워크의 특성을 결정짓는 핵심 값이다. 노드당 최대 자식 수(MC)와 Postfix 를 결정한다.
- Postfix: 16 비트 짧은 주소 중 일부 이다. 자식에게 새로운 주소를 할당할 때 Postfix 는 변화 시키지 않고 그대로 할당한다.
- PreAddress: 16 비트 짧은 주소 비트 중에 Postfix 를 제외한 나머지 부분이다. 자식에게 할당할 새로운 주소를 만들 때 사용된다.

3.2 동적 주소 할당 메커니즘

본 논문에서 제안하는 계층구조 센서네트워크에서 코디네이터는 자신의 짧은 주소를 0 으로 초기화하고 ND 의 크기를 결정 한다.

$$MC = 2^{ND} \quad \text{[수식 5]}$$

[수식 5]는 ND 의 크기와 MC 간의 관계식이며 따라서 본 논문에서 제안하는 센서 네트워크의 MC 값은 표 1 과 같이 결정 된다.

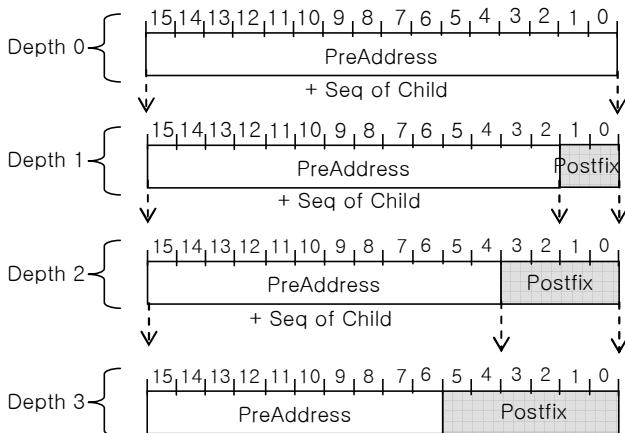
<표 1> ND 에 따른 MC 값

ND	MC
1	2
2	4
3	8
⋮	⋮
16	65535

(그림 1)은 ND의 크기가 2, 즉 MC가 4인 센서 네트워크의 짧은 주소 구조와 깊이에 따라 주소의 구조가 변하는 것과 코디네이터부터 계층적으로 자식에게 새로운 주소를 생성 및 할당하는 메커니즘을 표현한 것이다. Postfix는 부모 노드가 새롭게 참여한 자식노드에게 자신의 Postfix 비트 값을 변화 없이 그대로 전달하는 부분이다. 이 Postfix의 [수식 6]과 같은 규칙으로 깊이에 따라 다른 값을 가진다.

$$Postfix = ND \cdot Depth \quad [수식 6]$$

PreAddress는 16비트 짧은 주소 중에서 Postfix를 제외한 나머지 부분이다. 부모 노드가 자식에게 새로운 주소를 할당할 때 PreAddress 부분에 참여하는 자식노드의 순서를 더하여 자신과는 다른 새로운 PreAddress를 생성한다. 이렇게 생성된 PreAddress와 자신의 Postfix를 연결하여 자식에게 할당할 16비트 주소를 생성한다.

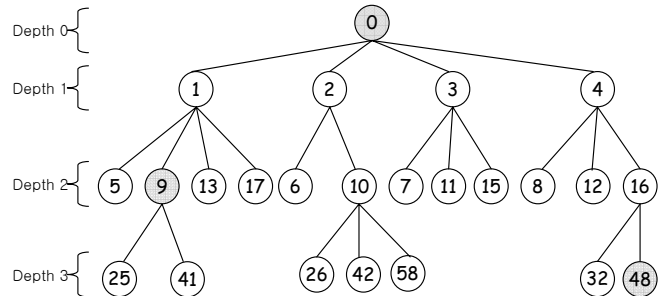


(그림 1) 깊이에 따른 주소의 구조와 할당

이와 같은 PreAddress 필드와 Postfix 필드를 가진 주소체계를 가진 센서 네트워크에서 센서 노드에 짧은 주소를 동적으로 할당하는 시나리오는 다음과 같다.

- (A) 먼저 새로운 센서 네트워크를 형성하기 위해 수많은 센서 노드들 중 하나의 노드가 코디네이터로 선정이 된다. 코디네이터로 선정된 노드는 센서 네트워크의 ND의 크기를 (2로 가정)를 결정하고 자신의 짧은 주소를 0으로 한다.
- (B) 코디네이터에게 첫 번째 자식이 참여하게 되면 PreAddress에 1을 더하여 새로운 주소를

- 생성하고 자식노드에게 할당한다. 두 번째, 세 번째, 네 번째 자식이 참여하는 경우에도 PreAddress에 각각 2,3,4를 더한 값을 할당한다.
- (C) Step (B)에서 코디네이터에게 짧은 주소를 할당 받은 Depth가 1인 노드들은 Postfix의 크기가 2이다. 새로운 노드가 참여하여 주소를 할당할 경우 자신의 PreAddress에 참여하는 노드의 순서번호를 더하여 새로운 PreAddress를 생성하고 자신의 Postfix와 연결하여 만든 16비트 주소를 자식에게 할당하게 된다.
- (D) Step (C)에서 주소를 할당 받은 노드는 Depth가 2이며 Postfix 값은 4이다. Step(C)에서 설명한 과정을 수행하여 자식에게 주소를 할당할 수 있다.



(그림 2) 제안된 계층구조의 센서 네트워크

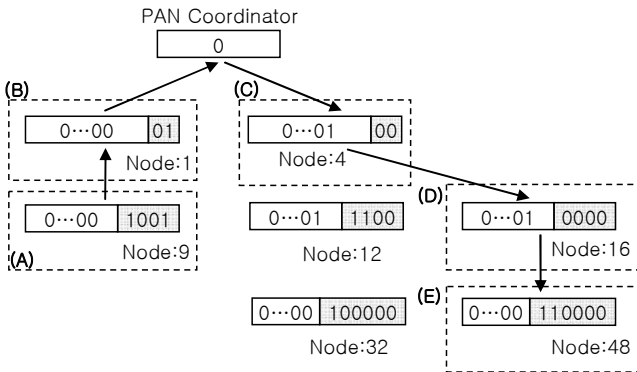
이와 같은 방법으로 주소를 할당함으로써 기존의 복잡한 수식에 의해 주소를 할당하는 방법보다 간단하기 때문에 에너지 효율적 측면에서 장점을 취할 수 있다. 주소가 할당된 네트워크는 (그림 2)처럼 나타낼 수 있다.

3.3 계층구조 라우팅 알고리즘

앞 절에서 Postfix라는 개념을 도입해서 계층구조의 동적 주소 할당 메커니즘을 소개하였다. 자식에게 주소를 할당할 때 자신의 Postfix를 그대로 자식에게 할당함으로써 그 노드 아래 모든 자손은 자신의 Postfix의 비트위치에 같은 비트 값을 가지게 된다. 예를 들어 (그림 3)에서 깊이가 1인 4번 노드의 Postfix 비트 값인 00은 4번 노드의 모든 자손들이 가지는 특징이 된다. 노드는 아래 세 과정을 거쳐 다음 노드를 결정할 때 Postfix의 특징을 이용한다.

1. 목적 노드가 자손들 중에 있는지 판단
2. 자손 노드에 없으면 부모로 전달.
3. 자손 노드에 있으면 적절한 자식을 선택해서 전송

(그림 3)은 (그림 2)에서 노드 9에서 노드 48로 데이터 프레임이 전송되는 시나리오를 확인하기 위해 (그림 2)의 트리의 일부를 16비트 주소인 2진수로 표현하였다.



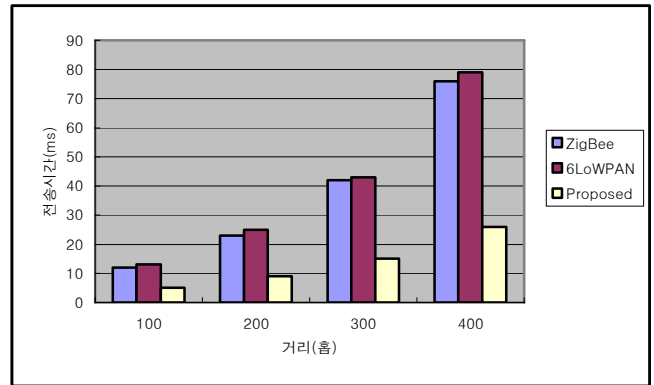
(그림 3) 경로와 2 진수로 표현된 주소

- 다음은 데이터 프레임 전송 시나리오이다.
- (A) 9 번 노드는 패킷을 생성하여 부모인 1 번 노드로 보낸다.
 - (B) 최종목적지가 아닌 1 번 노드는 자신의 Postfix(0,1 번 비트)와 최종목적지 주소(0,1 번 비트)를 비교한다. 자신의 Postfix 는 값은 01 이고 최종목적지의 값은 00 이므로 최종목적지가 자신의 자손이 아닌 것을 알고 부모노드로 데이터 프레임을 전달한다.
 - (C) 데이터 프레임을 받은 4 번 노드는 자신의 Postfix(0,1 번 비트)와 최종목적지주소 (0,1 번 비트)를 비교한다. 두 값이 모두 00 이므로 최종목적지는 자손들 중에 있음을 알 수 있고 적절한 자식 노드를 선택한다. 자식노드의 Postfix 4 비트(0,1,2,3 번 비트)와 최종목적지 주소(0,12,3 번 비트)를 비교하여 같은 값을 가지는 자식 노드를 선택한다. 따라서 다음 노드는 16 번 노드가 선택된다.
 - (D) 16 번 노드 역시 자신의 Postfix(0,1,2,3 번 비트)와 최종목적지 주소(0,1,2,3 번 비트)를 비교하고 자식의 Postfix(0,1,2,3,4,5,6 번 비트)와 최종목적지 주소(0,1,2,3,4,5,6 번 비트)를 비교하여 48 번 노드에게 전달한다.
 - (E) 48 번 노드는 자신의 최종목적지이므로 데이터 프레임을 상위 레어로 전달한다.

이와 같은 라우팅 알고리즘은 복잡한 수식을 사용하는 기존 방식보다 상당히 간단하게 다음 경로를 결정할 수 있다. 따라서 경로 설정에 걸리는 지연과 에너지 소모를 줄일 수 있다.

4. 성능 평가

본 제안의 성능을 기존 방식과 시뮬레이션을 수행하여 비교하였다. 경로를 설정할 때 실제 네트워크 상황과 최대한 유사하게 하기 위해 노드에서 다음 홉을 결정할 때 랜덤 딜레이를 주었다. 가로축은 센드 노드와 목적노드 사이에 경유해야 하는 노드의 개수이며 세로축은 전송되는데 걸리는 시간(ms)이다. (그림 4)에서 보듯이 데이터 프레임이 전달되는 시간이 제안하는 방식이 기존방식에 비해 상당히 단축됨을 확인할 수 있다.



(그림 4) 제안 방식의 성능평가 결과

5. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 기반의 센서 네트워크의 구조가 계층구조를 가질 때 노드들에게 짧은 16 비트 로컬 주소를 효과적으로 할당하고 할당된 짧은 주소의 특징을 이용하여 보다 효과적인 라우팅 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방식이 기존의 라우팅 알고리즘보다 경로를 결정하는데 걸리는 시간이 현저히 빠르고 네트워크에 센서 노드가 많을수록 라우팅의 성능을 기존의 것보다 향상시킬 수 있는 것을 검증하였다. 향후 본 논문에서 제안한 방안을 보다 정확하게 평가하기 위해 다양한 환경에서의 시뮬레이션 및 성능을 분석할 계획이다.

참고문헌

- [1] Akyildiz I.F, Weilian Su, Sankarasubramaniam Y, Cayirci E, "A survey on sensor networks" Communications Magazine, IEEE Volume 40, Issue 8, Aug. 2002 Page(s):102 - 114
- [2] Qiangfeng Jiang and Manivannan, D, "Routing protocols for sensor networks" Consumer Communications and Networking Conference, 2004. CCNC 2004. First IEEE 5-8 Jan. 2004 Page(s):93 - 98
- [3] IEEE computer Society, "IEEE Std. 802.15.4-2003", 2003. 10.
- [4] ZigBee Specifications, ZigBee Document 053474r06. ver.1.0 July, 2005. ZigBee Alliance
- [5] <http://www.6lowpan.org>
- [6] G.Montenegro, N.Kushalnagar, "Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks", draft-ietf-6lowpan-format-04, IETF, 2006.8
- [7] N.Kushalnagar, G.Montenegro, "6LoWPAN: Overview, Assumptions, Problem Statement and Goals", draft-ietf-6lowpan-problem-05, IETF, 2006.8
- [8] K.Kim, S.Yoo, J.Park, S.Daniel Park, J.Lee, "Hierarchical Routing over 6LoWPAN (HiLow)", draft daniel-6lowpan-hilow-hierarchical-routing-00, IETF, 2005.7