

---

# 센서 네트워크의 재배치를 고려한 계층적 라우팅 프로토콜

권 훈\* · 김정희\* · 곽호영\*\*

A hierarchical routing protocol of suggest to Sensor network reconfiguration

Hoon Kwon\* · Jeong-hee Kim\* · Ho-young Kwak\*\*

---

이 논문은 2007년도 지방기술혁신사업의 지원으로 수행되었습니다.

---

## 요 약

Zigbee 기반의 센서 네트워크를 IP 기반으로 대체하기 위한 IP-USN에서는 라우팅과 센서 노드에 대한 주소 배정 기법이 주요 핵심이다. 그러나, 기존의 계층적 라우팅은 End 노드를 고려하지 않아 라우팅시 모든 경로를 탐색해야 하는 단점이 있으며, End 노드 기반의 라우팅은 단순 경로 탐색만 지원하여 유동적인 센서네트워크 환경을 충족하지 못하고 있다. 이에 본 논문에서는 기존 방법들의 장점만을 가진 ComHRP(Complement HRP)를 제안하고, 이에 따른 주소 배정 기법과 검색 방법을 제안한다. ComHRP는 센서 네트워크의 구성을 단순화하고, 네트워크 복잡도를 낮추는 효과를 지닌다. 또한, 예측 불가능한 유비쿼터스 센서 네트워크의 특성에 따른 네트워크 재구성을 효율적으로 처리할 수 있다.

## ABSTRACT

In IP-USN for replacing the sensor network based on Zigbee by IP-based it, routing and the address assignment technique for sensor node are important focuses. But, there is a weak point in existing hierarchical routings. It is that all paths must be searched because the end node isn't considered. And the end node based routing is not sufficient in the mobile sensor network environment because it supports the only simple-path-search. Hereupon, this thesis suggests ComHRP(Complement HRP) that have the only merits of existing methods. The address assignment technique and search method are also proposed. ComHRP simplifies the organization of sensor networks and reduces network complexity. Also, It can efficiently deal with restructuring networks for the unpredictable ubiquitous sensor network feature.

## 키워드

계층적 라우팅, 센서 네트워크, IP-USN

---

\* 유비쿼터스 컨버전스 사업단

\*\* 제주대학교 통신컴퓨터공학부

교신저자 : 김정희

## I. 서론

센서 네트워크는 최근 각광받는 유비쿼터스 컴퓨팅에서의 기초 학문으로 자리잡고 있다. 이를 이용한 응용으로 산재된 데이터들을 습득하고, 이를 분석하여 모니터링하는 모델들이 많이 제시되고 있다[1].

센서 노드들로 수집된 정보들을 원하는 곳으로 전송하기 위하여 네트워크를 구성하고 이를 통한 데이터를 전송하는 라우팅 프로토콜에 관한 연구들이 많이 진행되고 있다. 그중에서도 Zigbee[2][3]를 기반으로 Ad-hoc 네트워크에 대한 계층적인 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 진행되었다.

이러한 연구들은 센서 노드들 개별의 각각의 ID를 부여함으로써, 네트워크를 구성하여 독립적 네트워크에서만 구분이 가능하도록 설계되어 범용적인 유비쿼터스 환경을 지원하는데 한계점을 가져오게 되었다.

이에 기존의 센서를 IP기반의 무선 네트워크로 대체하는 기술로 IP-USN이 나타났다. 이는 센서 네트워크에서 수집된 데이터를 해당 네트워크내에서 이종의 센서 네트워크 또는 IP 기반의 네트워크로 전송하기 위한 기술이다. 또한 무선 센서 네트워크는 고정된 인프라의 도움없이 이동 센서만으로 이루어진 네트워크로서, 네트워크의 독립성과 융통성을 높일 수 있지만 이동 센서의 참여와 이탈이 용이하여 네트워크의 유지와 관리에 어려움이 많다. 이러한 무선 네트워크에서는 센서 노드의 지리적 또는 논리적 위치정보를 이용하여 네트워크를 구성하고 있다[4][5]. 따라서 각 센서 노드는 센서 노드의 특성을 고려한 센서 네트워크의 구성하는 기술과 IP 주소를 할당하는 기술이 요구되어진다.

이에 본 논문에서는 센서 네트워크 내에서의 네트워크를 구성하기 위해 계층적 라우팅 기법을 활용하여, 센서 노드의 특성을 고려한 ComHRP(Complement Hierarchical Routing)와 이를 위한 주소 배정 방식을 제안한다. 또한, 예측 불가능한 네트워크의 특성을 고려하여 네트워크의 재구성이 용이하도록 하는 라우팅 방법을 제시한다. 이를 통해 계층적 라우팅 기법이 가진 장점과 센서 노드들의 환경 변화에 따른 네트워크 재구성시 효율적으로 대처할 수 있도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문과 관련된 기술 및 계층적 라우팅 방법에 대해 살펴보고, 3장에서는 ComHRP와 이를 위한 주소 배정 알고리즘을

설명한다. 4장에서는 기존의 방법과 비교하고 분석하며 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

## II. 관련 기술

### 2.1. 표준화 동향

#### 2.1.1 Zibgee

Zigbee 기반의 센서네트워크 특징은 전력소모를 최소화시켜서 전력 효율성을 향상시킨 것으로 이를 지원하는 Zigbee 디바이스는 NC(Network Coordinator), FFD(Full Function Device)와 RFD(Reduced Function Device)로 구성된다.

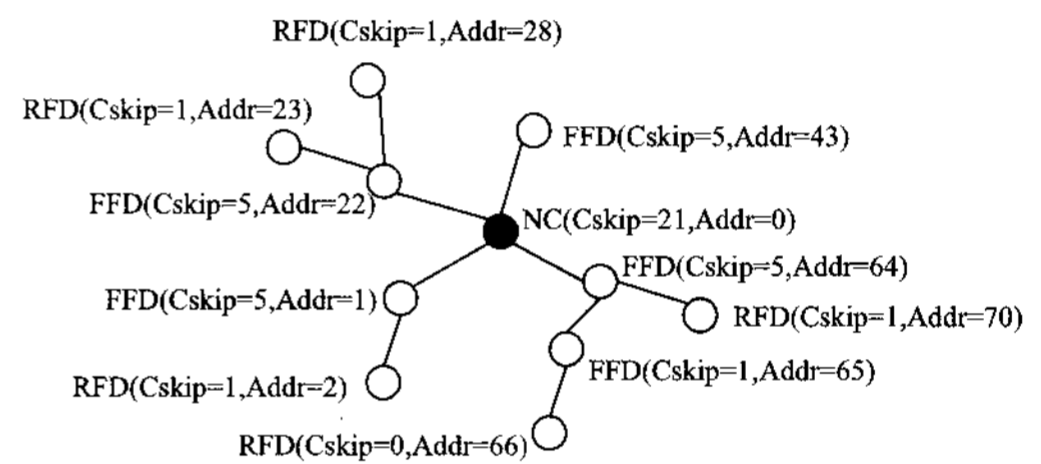


그림 1. 센서 네트워크  
Fig. 1 Sensor Network

[그림 1]의 종단센서는 최소한의 센싱 기능만을 가진 RFD를 이용하고 다수의 종단센서로부터 센싱된 정보를 NC로 전달하는 라우터 기능은 메모리와 컴퓨팅 파워가 RFD보다 강한 FFD를 이용한다. 다양한 기능의 센서들로 구성된 센서네트워크의 경우 동일한 기능의 센서들은 동일한 주파수를 사용하여 통신을 하고, 클러스터를 형성하도록 함으로써 NC와 통신하는 각 라우터기능의 센서들은 서로 다른 주파수 대역을 사용할 수 있다.

클러스터 트리 토폴로지를 이용하여 구성된 센서네트워크의 주소체계는 NC에게 부여되는 ID(ClusterID), 라우터에게 부여되는 ID(RouterID), 라우터와 연결된 종단센서에게 부여되는 ID(EndpointID)로 구성된다.

계층적 주소체계로 구성되는 센서네트워크에서 이벤트가 발생할 경우 이를 감지한 종단센서가 센싱된 데이터와 자신의 EndpointID를 라우터에게 전달하고 라우터에서는 전달받은 데이터와 자신의 RouterID를 최종적으로 NC에게 전달한다.

따라서 이벤트가 발생한 지역의 계층적인 주소를 포함하는 모든 정보가 NC에서 관리하게 된다. 또한 Zigbee의 주소부여 체계는 [표 1]의 (1)번과 같다. d+1에서의 n 번째 센서 디바이스의 주소는 [표 1]의 (2)을 기반으로 부여된다[2][3][6].

표 1. Zigbee의 주소 부여 체계  
Table. 1 Zigbee assignment address

$Cskip(d) = \begin{cases} 1+Cm(Lm-d-1), & \text{if } Rm=1 \\ \frac{1+Cm-Rm-CmRm^{Lm-d-1}}{1-Rm}, & \text{otherwise} \end{cases}$	... (1)
- Cskip(d) : sub-block의 네트워크 크기	
- Cm : 최대 자식 노드 수	
- Lm : 네트워크 최대 깊이	
- Rm : 최대 라우팅 수, d : 네트워크 깊이	
$A_n = A_{parent} + Cskip(d) + n$	... (2)

2.1.2 IP-USN

IP-USN[7]의 표준화는 6LoWPAN 워킹그룹에서 진행 중이다. 지금까지 센서 네트워크는 Zigbee 기술을 바탕으로 기업의 주도로 이루어져 왔다. 이는 독립된 네트워크를 구성하기 위한 방법으로 최근 센서네트워크와 인터넷에 대한 연동을 위한 요구가 증가하였다. 이에 IEEE 802.15.4 기반의 센서 네트워크에 IPv6를 직접 적용하고자 6LoWPAN 워킹그룹이 결성되었다.

6LoWPAN 워킹그룹은 2004년 11월부터 활동을 시작하여 IP-USN에서의 주소부여체계는 지금까지 표준화에 대한 연구를 지속해 오고 있다.

2.2. 계층적 라우팅 프로토콜

2.2.1 계층적 라우팅 프로토콜

계층적 라우팅 프로토콜[8]은 IEEE 802.15.4의 MAC 과 PHY를 기반으로 센서 네트워크를 효율적으로 운영하기 위한 라우팅 방법이다.

계층적 라우팅 프로토콜은 센서 노드가 네트워크에 참여하면서 할당 받은 주소를 기반으로 트리 형태의 네트워크 토폴로지를 형성한다. 따라서 각각의 센서 노드들은 부모와 자식간의 관계를 가지고 할당 받은 주소를 이용하여 수집된 데이터를 다른 센서 노드에게 전송하는 역할을 한다. 이에 각 센서 노드들은 목적 노드에게 데이터를 전송하기 위하여 별도의 라우팅 테이블을 갖

지 않아도 되며, 이는 하드웨어가 소형인 센서 노드들에 게 적합한 프로토콜이다. 그러나 이러한 방법은 모든 노드가 네트워크에서 부모 노드로 자식 노드를 가질 수 있다는 전제의 이상적인 토폴로지를 가정한 방법이다. 이는 센서 네트워크의 변화에 적응적이지 못하는 한계를 지닌다. [그림 2]은 Max Child(MC)의 값이 3일때의 주소 배정을 위한 구조이다.

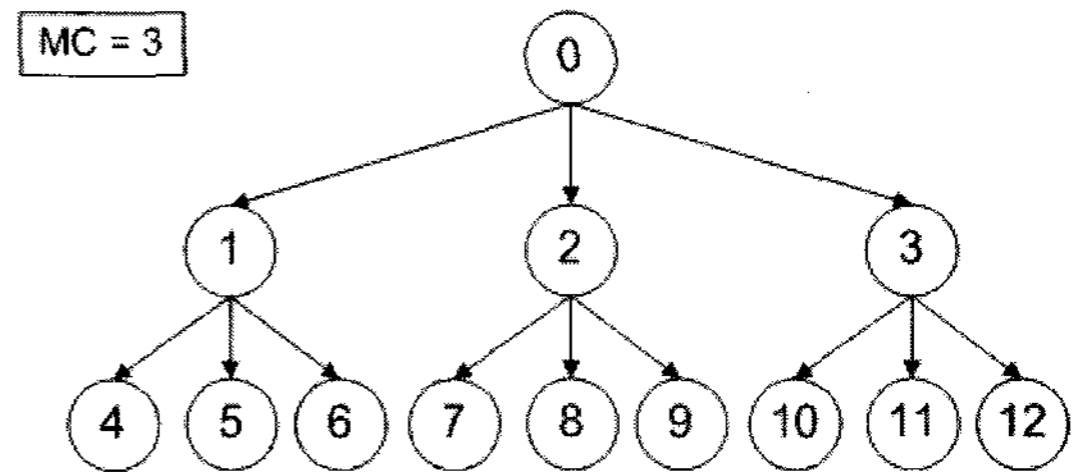


그림 2. 계층적 라우팅에서의 주소배정  
Fig. 2 Hierarchical routing assignment address

2.2.2 End 노드를 고려한 계층적 라우팅 프로토콜[9]

기존 계층적 라우팅 프로토콜에 기능 제한으로 라우팅이 제한적인 노드인 경우를 고려한 라우팅 프로토콜이다. 센서 노드를 자식 노드가 존재하는 경우와 존재하지 않는 경우로 나누어 각각의 노드에 주소를 할당함으로써 라우팅을 처리할 수 있는 방법이다. 그러나 이러한 방법은 주소를 부여하고 경로를 탐색하는 부분만을 고려하였다. 따라서 네트워크 내에서의 노드들의 소멸과 추가적 생성에 대하여 고려하지 않아 수시로 변화하는 센서 네트워크의 특성상 네트워크 재구성을 위한 주소할당 및 라우팅 설정에는 적합하지 못하다는 단점을 지닌다.

[그림 3]은 MC가 4이며, 자식 노드를 갖는 노드가 2인 경우에 End 노드를 고려한 계층적 라우팅 방법의 주소 배정을 나타내며 노란색 노드는 End 노드를 의미한다.

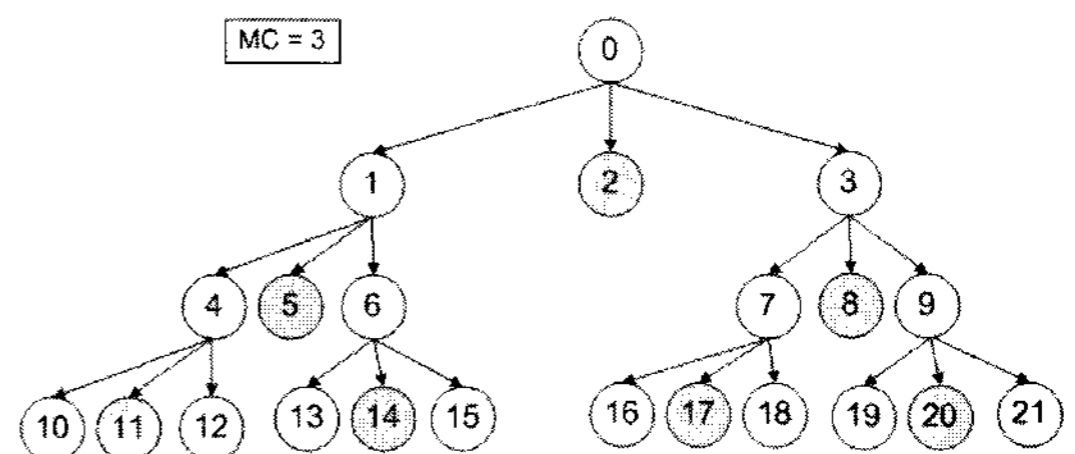


그림 3. End 노드를 고려한 주소 배정  
Fig. 3 Assignment address suggest of end node

### III. ComHRP와 알고리즘

본 논문에서는 기존의 계층적 라우팅과 End 노드 기반 라우팅 기법의 장점만을 갖는 ComHRP 기법을 제안한다. 또한 ComHRP는 센서 네트워크 재구성시 계층적 라우팅 방법에서의 목적 노드를 탐색 할 때 효율성을 위한 노드 주소 배정 방법을 고려했다.

#### 3.1. ComHRP의 주소 배정 방법

계층적 라우팅 방법에서 최초의 센서 노드가 네트워크를 구성하기 위해서는 기본적으로 네트워크를 구성하기 위한 MC를 정하여 그에 따라 MC만큼의 자식 노드를 갖는다. 네트워크 구성의 최초 노드는 "0"의 주소를 배정받는다.

표 2. 계층적 라우팅의 주소 배정 방법  
Table. 2 assignment address for hierarchical routing

$CI(n) = MC \times Am + n$ $CI(n)$ : 현재 할당된 자식의 수가 (n-1)일때 다음 할당되는 자식 노드의 주소 $Am$ : 자신의 주소 (주소할당하는 부모의 주소) $MC$ : Max Child
--

이때, 해당하는 노드 간의 부모/자식의 재구성이 이루어진다. 따라서 제안 방식의 주소 배정 방법은 계층적 라우팅의 주소 배정 방식을 그대로 유지하며, 다음 두 가지 사항에 대해 다르게 처리를 하였다.

표 3. ComHRP 주소 배정 알고리즘  
Table. 3 assignment address algorithm for ComHRP

1. 네트워크 구성에 따른 MC를 설정
2. 최초의 네트워크 노드는 "0"로 가정한다.
3. 노드 생성시,
  - 1) 네트워크를 스캔한다.
  - 2) 검색이 된 경우, 검색된 노드로부터 주소를 전달 받아, 검색된 노드의 주소를 부호화 절대치하여 부모노드로 변환 시킨후, [표 2]의 수식에 의해 자신의 주소를 배정한 후, 자신의 주소를 부호화 절대치한다.
4. 노드 제거시
  - 1) 해당 자식 노드를 스캔한다.
  - 2) 자식 노드가 제거 되었다면, 해당 자식 노드의 주소에 "0"를 곱한 후, 부호화 절대치한다.

첫째, 단말노드인 경우 부호화 절대치 방법을 이용하여 해당 주소 배정을 음수로 배정하였다.

둘째, 노드가 없는 경우는 첫 번째 방법에 "0"을 곱하여 배정 값을 "-0"로 재구성하였다.

[표 3]에 ComHRP의 주소 배정 알고리즘을 나타내었다. [그림 4]는 [그림 3]의 노드 구성을 ComHRP를 적용하여 재구성 한 것이다.

[그림 4]에서 실선으로 표현된 것은 실제 존재하지 않는 노드들의 구성을 가상적으로 나타낸 것이며, 노란색으로 표시한 노드는 단말 노드를 표현한 것이다.

단말 노드를 제외한 모든 노드들은 라우팅 또는 코디네이터가 된다.

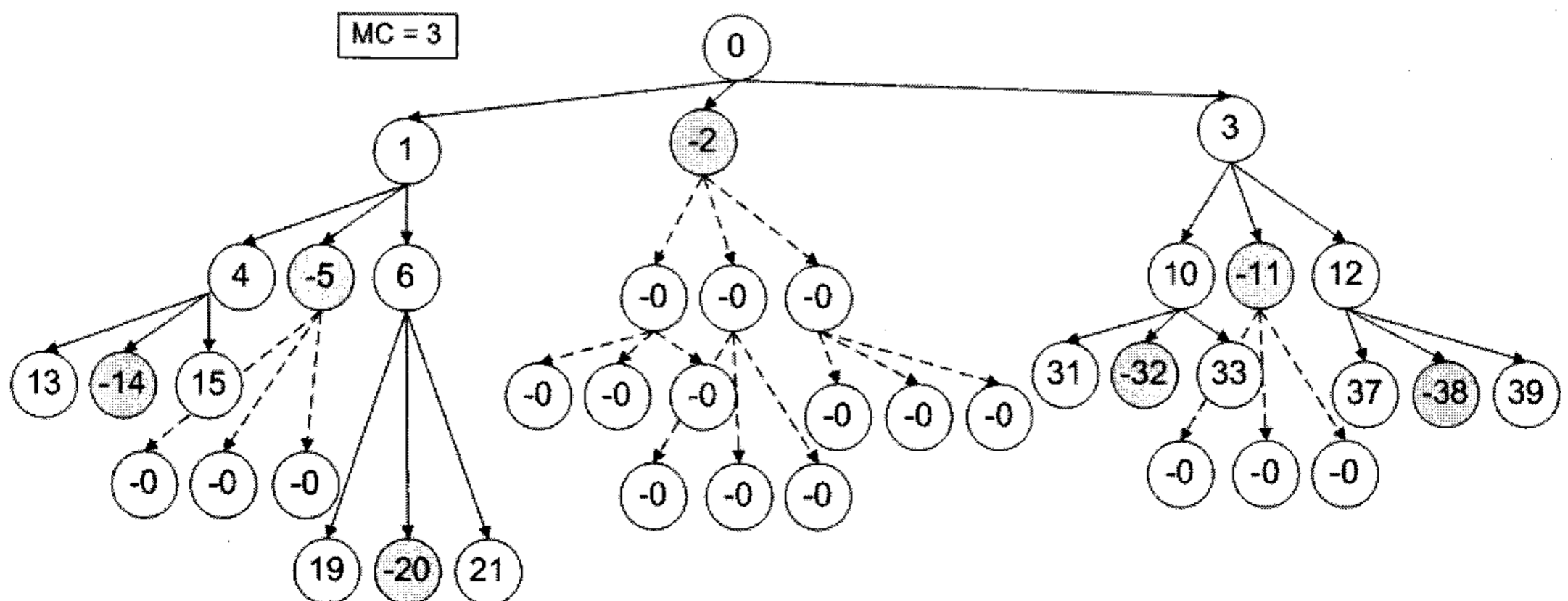


그림 4. ComHRP에 따른 주소 배정  
Fig. 4 Assignment address of ComHRP

[표 2]의 재귀적 공식을 통해 [표 4]와 같이 부모 노드와 몇 번째 자식 노드인지를 구할 수 있다.

표 4. 부모노드와 자신의 위치 추출 수식  
Table. 4 extraction method for parent node and self address

$A_p = A_m / MC$ <p><math>A_p</math> : 부모 노드의 주소 ( 수식의 몫 ) <math>x</math> : x번째의 자식임을 나타냄 ( 수식의 나머지 )</p>
---

3.2. 제안 방식에서의 데이터 전송

본 제안 방식에서는 별도의 라우팅 테이블을 저장할 필요 없이 목적 노드로의 데이터를 전송할 수 있다. 이는 자신의 주소와 목적 노드의 주소만을 비교하여 부모 또는 자식 노드에게 전달하는 방법을 사용한다.

라우팅 경로를 일일이 요청하여 찾아가는 과정이 없기 때문에 네트워크 혼잡도를 줄일 수 있으며, 테이블 공간이 별도로 필요 없는 장점을 갖는다.

[표 5]는 목적 노드의 주소가 주어졌을 때, 탐색하는 알고리즘을 나타낸다. 이를 통하여 별도의 라우팅 경로를 저장하지 않고, 처리할 수 있게 된다.

표 5. 목적 노드 검색 알고리즘  
Table. 5 Search algorithm for destination node

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 자신의 주소가 0이면 부모 노드에게 데이터를 전송한다.</li> <li>2. 목적 노드의 주소와 자신의 주소를 비교한다.</li> <li>3. 목적 노드의 주소가             <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 자신의 주소보다 적다면 자신의 부모 노드에게 데이터를 전송한다.</li> <li>2) 자신의 주소보다 크다면 자신의 자식노드들에게 데이터를 전송한다. 만약, 자식 노드들 중 첫 노드와 비교하여 목적 노드의 주소가 적다면, 자신의 부모노드로 데이터를 재전송한다.</li> </ol> </li> <li>4. 위의 과정을 반복한다.</li> </ol>
--

[그림 4]에 구성된 주소 배정을 토대로 노드 13번이 6번 노드를 찾아가고자 하면, [13] -> [4] -> [14] -> [4]-> [15] -> [4] -> [1] -> [5] -> [1] -> [6]와 같은 순서로 검색이 이루어진다. 이는 일반 계층적 라우팅 프로토콜에서 모든 노드를 다 검색하는데 걸리는 검색 시간을 크게 줄임 을 알 수 있다.

IV. 비교 분석

ComHRP와 기존의 계층적 라우팅 방법을 비교하면 [표 6]과 같다.

표 6. 기존 방식과의 비교  
Table. 6 complain to existing routing

비교 항목		A	B	C
고정 네트워크	구성	쉬움	쉬움	쉬움
	복잡도	높음	낮음	낮음
	재구성	가능	가능	가능
유동 네트워크	재구성	가능	불가능	가능
	복잡도	높음	낮음	낮음

[표 6]에서 “A”는 계층적 라우팅 방식, “B”는 End 노드를 고려한 라우팅 방식, “C”는 ComHRP 를 나타낸다.

고정 네트워크는 초기 센서네트워크상의 유동적 환경을 고려하지 않은 환경을 나타내며, 유동 네트워크는 센서 특성과 환경적 요인에 의해 네트워크 재구성이 빈번히 일어나는 환경을 나타낸다.

“A”는 이상적 환경에서의 최적화된 라우팅 방법이므로 구성은 쉬우나, 복잡도 측면에서 복잡하다. 이는 유동 네트워크에서 역시 재구성은 이상적 환경에는 손쉽게 가능하지만, 네트워크의 홉이 많아질수록 복잡도는 더욱 더 높아지는 단점을 나타내고 있다. 이는 오른쪽 사향인 네트워크 토폴로지인 경우 최악을 나타낸다.

“B”는 고정 네트워크에서는 구성이 쉽고, End 노드에 대해 처리를 함으로써, 구성과 검색에 따른 복잡도를 낮췄다. 그러나 자식노드를 갖는 노드와 갖지 않는 노드를 초기 설정에 한정하여 주소를 할당하기 때문에, 노드가 없는 단말 노드에 새로운 노드의 추가를 고려하고 있지 않다. 따라서 네트워크의 변화가 빈번한 유동 네트워크에서는 재구성 자체가 불가능하여 모든 노드에 대해 구성을 매번 다시 해야 하는 어려움이 존재한다.

본 논문에서 제안한 ComHRP는 “A”와 “B”의 두 방식의 장단점을 고려하여, 계층적 구조를 유지하면서, 복잡도를 줄이고, 재구성이 가능하도록 하였다. 빈번하게 바뀌는 네트워크 토폴로지에서 주소배정이 간단히 이루어짐으로써, 라우팅을 재구성시 비용이 줄어들고, 또한 사향 구조의 네트워크 토폴로지에서 특히 검색 시간이 감소함을 알 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 센서 네트워크 내에서의 네트워크를 구성하기 위해 계층적 라우팅 기법을 활용하여, 센서 노드의 특성을 고려한 ComHRP를 제안하고 이를 위한 주소 배정 방법을 제안하였다. 이를 이용하여 USN 환경에서의 예측 불가능한 네트워크의 특성을 고려하여 네트워크의 재구성시 효율적인 라우팅을 할 수 있도록 하였다.

다이나믹한 센서 네트워크 환경에서의 고정 네트워크 구조에 의한 검색에 치우친 기존 연구의 단점을 보완하여 본 논문은 센서 노드의 특성을 고려하여 다이나믹한 센서 네트워크 환경을 잘 적용할 수 있도록 하였다. 이에 따른 복잡도가 감소 하였으며, 네트워크 재구성시 비용도 감소하였다.

이는 추후 IP-USN에서 논의되는 센서 네트워크의 주소와 IP간의 연동방안에 대해서 보다 용이한 접근 방법이 가능하다.

예를 들어 IPv4 주소로의 연동은 Port 넘버에 배정된 주소 ID를 배치하는 방법과 NAT 방식을 통하여 사설 IP에 테이블로 매핑하여 배치하는 방법으로 연동 될 수 있다.

IPv6 주소로의 연동은 제안 방법을 16bit Short Address 할당을 통하여 매핑시킬 수 있다.

### 감사의 글

본 연구는 2007년 지방지역혁신기술사업의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

[1] Paul Grace, Geoff Coulson, Gordon Blair, Barry Porter and Danny Hughes, "Dynamic Reconfiguration in Sensor Middleware," Midsens '06, November 27 - December 1, Melbourne, 2006.

[2] ZigBee Alliance web site, <http://www.zigbee.org>, accessed in 20, Jan., 2008.

[3] ZigBee Alliance, "ZigBee Specification 1.0", <http://www.zigbee.org/en/specdownload/downloadrequest.asp>, accessed in 22, Jan., 2008.

[4] V. Mhatre, C. Rosenberg, D. Kofman, R. Mazumdar, and N. Shro, "A minimum cost heterogeneous sensor network with a lifetime constraint", IEEE Tran. on Mobile Computing, Vol. 4, No.1, pp. 4-15, February 2005.

[5] Q. Wang, H. Hassanein, and K. Xu, "A practical perspective on wireless sensor network", Handbook of Sensor Network: Compact Wireless and Wired Sensing System(Ilyas/Mahgoub, Eds), Chapter 9, CRC Press, July 2004.

[6] 김정희, 권훈, 김도현, 곽호영, 도양희, 김대영, "센서 네트워크와 인터넷(IPv4/IPv6)과의 동적 주소 연동 방안", 한국해양정보통신학회지 제 10권 8호, pp1510-1518, 2006

[7] N. Kushalnagar, G. Montenegro and C. Schumacher, "6 LoWPAN : Overview, Assupmtions, Problem Statement and Goals" draft-ietf-6lowpan-problem-07(RFC4919), Feb, 2007.

[8] K. Kim, Ed., J. Park, S. Daniel Pard, Ed. and J. Lee, "Hierarchcial Routing over 6LoWPAN" draft-daniel-6lowpan-HiLow-hierarchical-routing-00, Jun, 2007.

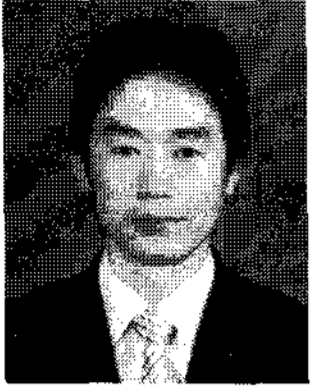
[9] 박준성, 김기형, "IP-USN에서 END 노드를 고려한 계층적 라우팅 프로토콜 연구", 한국정보처리학회 춘계학술대회 제14권 1호, pp802-805, 2007

### 저자소개



권 훈(Hoon Kwon)

2003년 제주대학교 해양생물공학 (학사)  
 2005년 제주대학교 대학원 컴퓨터 공학과 (석사)  
 2006~ 현재 제주대학교 대학원 컴퓨터공학과 (박사과정)  
 2005~ 현재 제주대학교 시간강사  
 2007~ 현재 유비쿼터스컨버전스사업단연구원  
 ※ 관심분야 : XML, WSNs, RFID 등



김정희(Jeong-Hee Kim)

1994년 제주대학교 정보공학과  
(학사)

1997년 제주대학교 대학원 정보공  
학과 (석사)

2005년 제주대학교 대학원 정보공학과 (박사)

2000~현재 제주대학교 시간강사

2007~현재 유비쿼터스컨버전스사업단연구원

※ 관심분야 : Internet Application, WSNs, Semantic Web  
등



곽호영(Ho-Young Kwak)

1983년 홍익대학교 전자계산학과  
(학사)

1985년 홍익대학교 대학원 전자계산  
학과 (석사)

1991년 홍익대학교 대학원 전자계산학과 (박사)

1990~현재 제주대학교 통신컴퓨터공학부 교수

2007~현재 유비쿼터스컨버전스사업단장

※ 관심분야 : 객체지향 프로그래밍, 프로그래밍  
언어론, Internet Application 등