

데이터의 최단 거리 전송을 위한 가상 주소 라우팅 프로토콜

김 지원*, 조 태 환*, 최 상 방^o

Virtual Address Routing Protocol for The Shortest Path Transmission of Data

Jiwon Kim*, Taehwan Cho*, Sangbang Choi^o

요 약

무선 센서 네트워크에서 사용되는 센서 노드는 배터리, 메모리 등의 제한된 자원을 가지고 있기 때문에 이를 효율적으로 사용하기 위한 라우팅 프로토콜이 요구된다. 본 논문에서는 싱크 노드와 센서 노드 간에 최단 전송 경로로 데이터를 전송할 수 있도록 보장하는 VAP(Virtual Address Protocol)를 제안한다. VAP는 각 노드에 이웃 노드와 연관된 가상 주소와 보조 주소를 할당하고, 목적지 노드의 주소와 이웃 노드의 주소를 비교하여 최단 전송 경로를 찾아 데이터를 전송한다. 또한, 네트워크 토폴로지에서 노드가 삭제되거나 추가된 경우 재할당 알고리즘을 사용하여 노드에 주소를 할당한다. VAP를 기존의 라우팅 프로토콜과 비교한 결과, 노드간의 주소가 중복되지 않아 전송 경로 및 메모리 자원의 사용이 최소화되고, 최적의 전송 경로를 이용하여 데이터를 전송하므로 데이터의 전송 지연 시간이 감소한 것을 확인할 수 있었다.

Key Words : WSN, hash table, routing, clustering, virtual address

ABSTRACT

In the wireless sensor networks, a sensor node has limited resources such as battery or memory. Hence, the routing protocol used in the wireless sensor networks is required efficient use of resources. In this paper, the VAP(Virtual Address Protocol), ensures the shortest transmission path for data transmission between the sink node and sensor node, is proposed. The VAP is assigned each node virtual address and sub address related with its neighboring nodes. The shortest transmission path to the destination node will be choose by comparing to each other address of its neighboring node. The comparison with other existing routing protocol shows that transmission path and usage of memory resource are minimized. Also transmission delay time of data was reduced.

1. 서 론

최근 무선 센서 네트워크에 대한 관심이 높아지면

서 추적 및 모니터링 분야 등 정보를 수집하는 여러 시스템에 무선 센서 네트워크 기술의 사용이 늘어나고 있다^[1]. 일반적인 무선 센서 네트워크 시스템의 주

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2010-0020163).

♦ First Author : Inha University Department of Electronic Engineering, jwk@inha.edu, 학생회원

o Corresponding Author : Inha University Department of Electronic Engineering, sangbang@inha.ac.kr, 종신회원

* Republic of Korea Air Force Academy Department of Electronic Engineering, burujo@naver.com, 정회원

논문번호 : KICS2016-08-207, Received August 23, 2016; Revised November 20, 2016; Accepted December 29, 2016

목적은 주어진 환경에서 원하는 데이터를 수집함으로써 상황에 맞게 대응하는 것이다. 네트워크를 구성하는 각 센서 노드는 주변 환경을 감지 및 측정하고, 데이터를 수집하며, 수집된 정보를 싱크 노드로 직접 보내거나 인접 노드를 통해서 전송한다. 이러한 센서 노드는 유선으로 네트워크를 구성하기 어려운 환경에서 동작하기 때문에 센서 노드의 상태 변화로 인해 네트워크 토폴로지가 변경될 수 있고¹²⁾, 저전력을 위해 크기가 작게 제작되어 하드웨어 성능에 제한이 있다. 따라서 무선 센서 네트워크에서는 에너지의 소모와 하드웨어 자원의 사용을 줄이면서도 데이터의 전송 성능을 효율적으로 향상시키기 위한 라우팅 프로토콜이 요구된다³⁻⁶⁾.

라우팅 프로토콜은 네트워크에서 데이터 전송 경로를 설정하는 것으로, 무선 센서 네트워크에서 사용되는 라우팅 프로토콜은 전송 경로의 설정 방식에 따라 크게 세 가지 종류로 나눌 수 있다^{7,8)}. 우선, 플러딩(flooding) 방식은 모든 전송 경로를 비교하여 데이터를 전송할 수 있는 최적화된 경로를 찾는 방법이다. 데이터의 전송은 전송 경로를 설정하려는 노드로부터 시작하며, 데이터를 받은 노드는 자신의 모든 이웃 노드에 수신한 데이터를 전송한다. 이러한 과정을 통해서 데이터의 전송 경로를 탐색한 후, 최적의 전송 경로를 결정한다. 각 경로의 정보를 통해 데이터를 전송할 수 있는 모든 경로를 비교하여 가장 좋은 경로를 찾으므로 최적의 전송 경로를 찾을 수 있지만 모든 경로의 정보를 비교해야 하므로 네트워크의 자원이 많이 소모되는 단점이 있다⁹⁾. 플러딩 방식의 대표적인 예로 AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector)¹⁰⁾ 프로토콜을 들 수 있다. 위치 정보 기반의 주소 방식은 GPS(Global Positioning System)와 같이 노드 자신의 위치를 알 수 있는 센서를 추가적으로 이용하여 노드의 위치를 파악하고 이를 기반으로 전송 경로를 설정하는 방법이다. 전송 경로가 각 노드의 위치를 기반으로 설정되어 전송 경로 설정과 네트워크 토폴로지 변화에 대응하기 쉽기 때문에 전송 경로를 설정하는데 비용이 적게 드는 장점이 있다. 하지만, 노드의 위치를 알기 위해 추가 센서를 사용하므로 센서 노드의 에너지 소모가 크다¹¹⁾. 또한, 노드의 위치가 변경될 경우 해당 영역의 정보를 수정해야 하는 단점이 있다. 대표적인 프로토콜로는 GRID¹²⁾가 있다. 분산 해시 테이블 기반 라우팅 프로토콜은 각 노드에 주소를 할당하고 이를 바탕으로 분산 해시 테이블 방식의 개념을 응용하여 전송 경로를 찾는 방법이다. 각 노드에 주소를 할당하여 데이터를 전송하므로 기존의 플러딩

방식이나 위치 정보를 이용하는 방식보다 에너지 소모가 적고, 효율적인 데이터 전송을 가능하게 한다. 하지만 위치 정보와 같은 추가 정보를 사용하지 않기 때문에 최단 거리의 전송 경로를 보장하지 못한다. 대표적인 프로토콜로는 VRR(Virtual Ring Routing)¹³⁾과 VCP(Virtual Cord Protocol)¹⁴⁾, M-DART(Multi-path Dynamic Address Routing)¹⁵⁾, VIRO¹⁶⁾가 있다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 노드의 에너지 소모를 최소화하기 위해 각 노드에 주소를 할당하고 이를 바탕으로 전송 경로를 탐색하는 VAP(Virtual Address Protocol)를 제안한다. 이 프로토콜은 각 노드에 이웃 노드와 연관된 주소를 할당하고 할당된 주소를 통해 최적의 전송 경로를 찾는다. 각 노드의 주소는 가상 주소와 보조 주소의 정보를 가지며, 싱크 노드로부터 주소 할당을 시작하여 트리 형식으로 중복되지 않도록 한다. 각 노드에 할당된 주소를 기반으로 데이터의 목적지 주소와 이웃 노드들의 주소를 비교하여 최단 전송 경로를 찾는다. 제안한 프로토콜의 성능 평가를 위해 기존에 제안된 프로토콜과 노드 수의 변화에 따른 총 전송 경로 길이 및 주소 표기에 필요한 비트 수, 그리고 데이터의 지연 시간을 비교하였다. 제안한 프로토콜은 노드의 주소를 이웃 노드와 연관된 주소로 할당하고 할당된 주소를 통해 목적지 노드로 가는 최적의 전송 경로를 찾을 수 있기 때문에, 기존의 제안된 프로토콜보다 데이터의 전송 경로 길이가 짧고, 중복된 주소를 갖는 노드의 발생을 최소화하여 데이터의 전송 지연 시간이 감소되었으며, 주소 표기 방식의 변경으로 주소를 표현하는데 필요한 비트 수의 감소로 네트워크의 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다.

본 논문은 다음과 같이 이루어져 있다. II장에서는 분산 해시 테이블 기반 라우팅 프로토콜과 기존의 라우팅 프로토콜을 소개하고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜을 설명한다. IV장에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 프로토콜의 성능을 분석 및 평가하고, V장의 결론으로 본 논문을 마무리한다.

II. 관련 연구

이 장에서는 분산 해시 테이블 기반 라우팅 프로토콜과 지그비의 주소 할당 알고리즘¹⁷⁾에 대해 설명한다.

2.1 분산 해시 테이블 기반 라우팅 프로토콜

분산 해시 테이블 기반 라우팅 프로토콜은 기존의

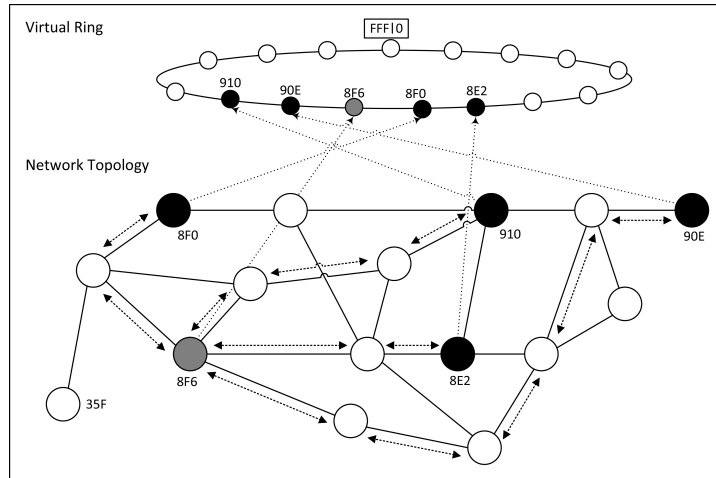


그림 1. VRR 프로토콜에서 가상의 원과 네트워크 토폴로지의 관계
 Fig. 1. Relationship between virtual ring and network topology in the VRR protocol

플러딩 방식과 위치 정보 기반 방식에 비해 네트워크 자원의 소모를 줄이면서도 효율적인 데이터 전송을 가능하게 한다. 이 프로토콜은 각 노드에 주소를 할당하고 이를 바탕으로 분산 해시 테이블의 방식을 응용하여 최적의 전송 경로를 찾는다. 주소를 할당해서 데이터를 전송하므로 기존의 플러딩 방식이나 위치 정보를 이용하는 방식보다 네트워크 자원을 적게 소모하고, 효율적으로 데이터 전송 경로를 찾는다. 하지만 데이터를 전송할 때 위치 정보와 같은 추가 정보를 사용하지 않기 때문에 최단 거리의 전송 경로를 보장하지 못하는 단점이 있다. 이 프로토콜은 크게 주소 할당과 데이터 전송의 두 단계로 구성되며, 주소 할당 단계에서는 네트워크 내의 각 노드에 유일한 주소를 할당한다. 그리고 전송 단계에서는 주소 할당 단계에서 할당된 주소를 바탕으로 전송 경로를 찾고 데이터를 전송한다. 대표적인 프로토콜로는 VRR과 VCP가 있다.

2.1.1 VRR(Virtual Ring Routing)

VRR 프로토콜은 분산 해시 테이블의 개념을 응용한 초기의 프로토콜로서, 네트워크를 구성하는 노드에 임의의 주소를 할당하여 전송 경로를 설정한다. 그림 1은 VRR 프로토콜에서 가상의 원과 네트워크 토폴로지의 관계를 보여준다. 가상의 원은 노드 주소를 0부터 FFF의 범위 안에서 임의의 값으로 할당하여 구성한다. 이때, 노드에 할당되는 주소는 시계방향으로 증가한 값을 갖는다. 각 노드는 자신과 통신 가능한 실제 이웃 노드와 가상의 원에 존재하는 이웃 노드들, 그리고 자신을 거쳐 전송된 데이터에 대한 전송 경로

를 라우팅 테이블에 저장한다. 그리고 데이터를 전송할 목적지 노드의 주소와 라우팅 테이블에 존재하는 노드들의 주소를 비교하여 목적지 노드의 주소에 가장 가까운 노드로 데이터를 전송한다. 하지만 그림 1과 같이 8F6 노드의 이웃 노드 8E2, 8F0, 90E, 910이 실제 네트워크 토폴로지에서는 임의의 위치에 배치되어 최단 전송 경로와 연관성 없는 노드로 데이터를 전송하게 되는 문제점이 있다.

이와 같이 VRR은 가상의 원에서 인접했던 노드가 실제 네트워크에서는 임의의 위치에 할당되어 가장 긴 전송 경로를 갖게 될 수 있고, 네트워크의 크기가 커지면, 라우팅 테이블의 크기가 증가하여 메모리 자원을 많이 소모하는 단점이 있다. 하지만 VRR과 같이 노드간의 연관성을 고려한 주소 할당보다 주소를 표현하는 수의 제약이 없는 장점이 있다.

2.1.2 VCP(Virtual Cord Protocol)

VCP는 분산 해시 테이블의 개념을 응용한 프로토콜로서, VRR 프로토콜의 단점을 보완하여 최단 경로의 전송 가능성을 향상시켰다. 이 프로토콜은 주소를 임의로 할당하지 않고 이웃 노드와 연관된 가상의 주소를 할당하여 전송 경로를 설정한다. 주소는 0부터 1까지의 범위 안에서 할당하며, 이웃 노드와의 연관된 주소 할당을 위해 이웃 노드 주소와의 사이값을 사용한다. 동작 과정은 네트워크 가입과 데이터 전송의 두 단계로 이루어진다. 네트워크 가입 단계에서는 각 노드에 이웃 노드 주소와 연관된 주소를 할당한다. 그리고 전송 단계에서는 이웃 노드와 목적지 노드의 주소를 비교하여 가장 가까운 주소를 갖는 노드로 데

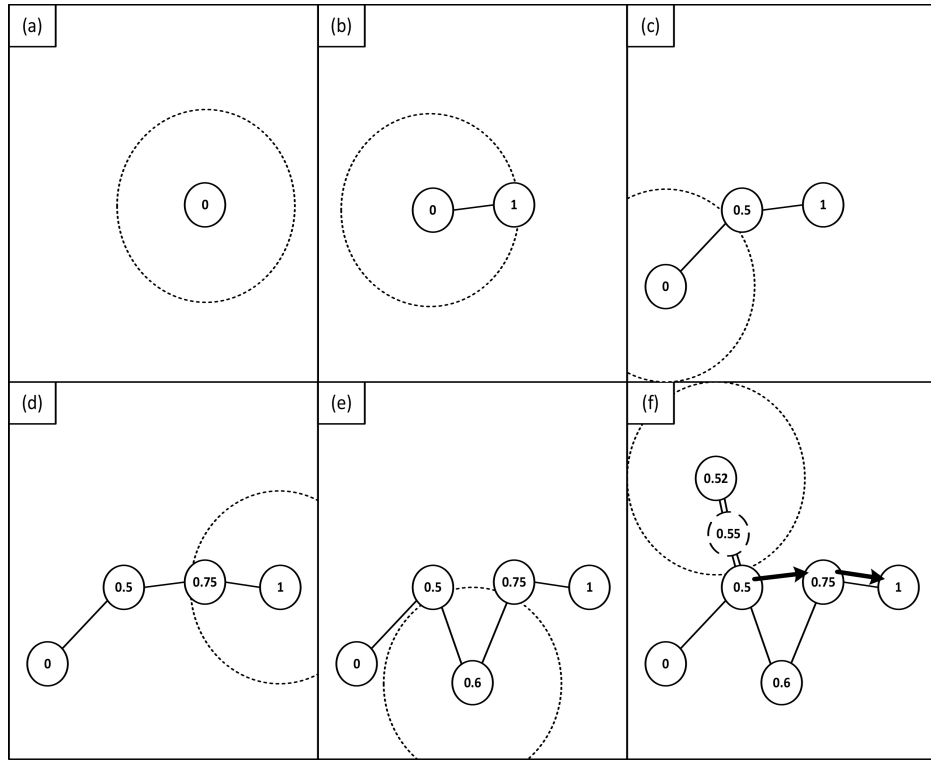


그림 2. VCP의 노드 가입 절차
Fig. 2. Node joining process of the VCP

이터를 전송한다. VRR 프로토콜은 각 노드의 주소를 임의로 할당하여 목적지 노드를 바로 찾지 못하지만, VCP는 이웃 노드의 주소와 연관성이 있는 주소를 할당하므로 목적지 노드와 가까운 노드로 데이터를 전송할 수 있다. 따라서 VRR 프로토콜보다 짧은 전송 경로를 이용하여 데이터를 전송한다.

그림 2는 VCP의 노드 가입 절차를 나타낸다. 네트워크 가입 단계는 그림 2의 (a)와 같이 시작 주소인 0을 갖는 하나의 노드로부터 시작한다. 그림에서 점선의 원은 네트워크에 새롭게 가입한 노드의 통신 범위를 의미하며, 가상의 주소 범위는 [0, 1]로 가정한다. 각 노드는 임의의 제한 시간동안 이웃 노드들의 정보를 수집하며 각 노드의 제한 시간을 달리하여 노드들이 동시에 네트워크 가입을 시도하지 않도록 한다. 그림 2의 (b)는 네트워크에 새로운 노드가 가입한 경우로, 이때 네트워크에 가입한 노드의 이웃 노드가 시작 주소를 가지고 있다면 자신의 주소를 시작 주소인 0으로 변경하고 시작 주소를 가지고 있었던 노드의 주소를 마지막 주소인 1로 변경한다. 그림 2의 (c)도 새로운 노드가 네트워크에 가입했을 때 이웃 노드가 시작 주소를 가진 경우를 나타낸다. 이때, 시작 노드를

가진 이웃 노드에 다른 주소를 가지고 있는 노드가 연결되어 있다면, 네트워크에 가입한 노드의 주소를 시작 주소인 0으로 변경한다. 그리고 시작 주소를 가지고 있던 이웃 노드의 주소를 자신이 가지고 있던 주소와 이웃 노드에 연결된 노드 주소의 중간 값으로 설정한다. 즉, 왼쪽 아래의 새로운 노드가 시작 주소인 0으로 할당되고, 이웃 노드와 연결된 노드의 주소 1과 자신의 주소 0 사이에 중간 값인 0.5로 주소가 할당된다. 그리고 그림 2의 (d)와 같이 마지막 주소 1을 갖는 이웃 노드가 자신의 이웃 노드로 존재하는 경우, 그림 2의 (c)와 같이 자신의 주소를 1로 설정한다. 이웃 노드의 주소는 이웃 노드에 연결된 노드의 주소 0.5와 1과의 중간 값인 0.75가 된다. 그림 2의 (e)와 같이 이웃 노드들이 연속된 두 주소를 갖는다면 자신의 주소를 이 두 이웃 노드의 주소 값인 0.5와 0.75의 중간 값인 0.6으로 설정한다. 마지막으로 그림 2의 (f)와 같이 시작 주소나 마지막 주소가 아닌 중간 주소를 갖는 하나의 이웃 노드만이 존재할 경우, 가상의 노드를 하나 생성하여 주소를 설정한다. 가상의 노드 주소는 이웃 노드의 주소 값인 0.5와 이웃 노드와 연결된 노드의 주소 값인 0.6의 중간 값인 0.55를 갖는다. 가상의 노

드 주소가 정해지면, 이웃 노드의 주소 값인 0.5와 가상 노드의 주소 값인 0.55의 중간 값인 0.52로 노드의 주소 값을 설정한다. 네트워크내의 모든 노드에 주소가 할당되면 데이터 전송을 시작한다. 그림 2의 (f)에서 화살표는 데이터의 전송 경로를 나타낸다. 만약, 0.5의 주소를 갖는 노드의 목적지 주소가 1이라면, 0.5의 주소를 갖는 노드는 이웃 노드의 주소를 검색하여 목적지 주소와 가장 가까운 0.75의 주소를 갖는 노드로 데이터를 전송한다. 0.75의 주소를 갖는 노드는 데이터를 받은 후, 목적지 주소가 1인 노드로 데이터를 전송한다.

이와 같이 VCP는 노드의 주소를 이웃 노드와 연관성 있게 할당하므로, VRR 프로토콜보다 최단 전송 경로에 가깝게 데이터를 전송한다. 하지만 최단 전송 경로를 찾기에는 주소에 담긴 정보가 부족하여 최단 전송 경로로의 데이터 전송을 보장하지 못한다. 또한, 주소를 [0, 1] 범위안에서 할당하므로 주소를 표현할 수 있는 수의 한계로 인해 중복된 주소를 가지는 문제가 발생한다. 그리고 네트워크를 구성하는 노드의 개수가 증가할수록 노드의 주소가 길어져 주소 표기에 필요한 비트 수가 증가하게 되는 단점이 있다.

2.2 지그비(Zigbee) 주소 할당

지그비의 네트워크는 코디네이터, 라우터(router), 자식 노드로 이루어지며, 코디네이터(coordinator) 노드부터 자식 노드까지 주소를 순차적으로 할당한다. 이때 각 노드는 네트워크의 깊이, 라우터와 자식 노드의 개수에 따라 주소를 할당받는다. 네트워크의 코디네이터 주소는 0으로 할당되며, 라우터의 자식 노드는 $Cskip$ 알고리즘을 이용하여 할당받는다. $Cskip$ 알고리즘인 $Cskip(d)$ 는 식 (1)과 같으며, 여기서, C_m 은 각 노드가 가질 수 있는 최대 자식 노드의 개수, R_m 은 자식으로 가질 수 있는 최대 라우터 개수, L_m 은 네트워크의 최대 깊이, d 는 자신의 네트워크 깊이를 나타낸다.

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

$Cskip$ 알고리즘을 통해 해당 노드가 할당할 수 있는 주소 범위를 구하고, 자식 노드의 주소는 식 (2)를 통해 할당한다. 여기서, A_n 은 n 번째 자식 노드의 주소를 의미하고, A_{parent} 는 부모 노드의 주소를 의미한

다. 그리고 n 은 부모 노드와 연결된 자식 노드들 중 몇 번째 자식 노드인지를 나타내며, n 의 개수는 1부터 최대 C_m 개다.

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

$(1 \leq n \leq C_m)$

네트워크의 모든 노드들의 주소가 할당되면, 식 (3)의 조건에 따라 데이터의 전송 방향이 정해진다. 만약, 라우터가 목적지 주소를 자식노드로부터 받았을 때 식 (3)의 조건이 만족하면 라우터 자신의 자식 노드가 목적지 노드인 것이므로 자신의 다른 자식 노드에게 데이터를 전송하고, 조건이 만족하지 않으면 자신의 부모 노드에게 데이터를 전송한다. 식 (3)에서 A 는 목적지 노드로 데이터를 전달하는 노드, A_D 는 목적지 노드의 주소를 나타낸다.

$$A < A_D < A + Cskip(d-1) \quad (3)$$

그림 3은 네트워크의 L_m 이 3, R_m 이 4, C_m 이 4일 때 주소가 할당된 예를 보여준다. C는 코디네이터를 나타내고, 각 원의 숫자는 노드의 주소를 의미한다. 네트워크의 최대 깊이가 3이므로, 현재의 깊이 d 가 0일 때 $Cskip(0)$ 는 식 (1)에 의해 21이 되고, d 가 1일 때 $Cskip(1)$ 은 5, d 가 2일 때 $Cskip(2)$ 는 1, d 가 3일 때 $Cskip(3)$ 은 0이 된다. 코디네이터의 주소는 0으로 할당되며, 코디네이터의 자식 노드 중 첫 번째 자식 노드는 코디네이터의 주소에 1을 더한 주소 값 1로 할당된다. 두 번째 자식 노드는 첫 번째 자식 노드의 주소에 $Cskip(0)$ 의 값 21을 더한 22로 할당되고, 세 번째 자식 노드는 두 번째 자식노드의 주소 22에 $Cskip(0)$ 의 값 21을 더한 43이 된다. 그리고 네 번째 자식 노드는 세 번째 자식 노드의 주소 43에

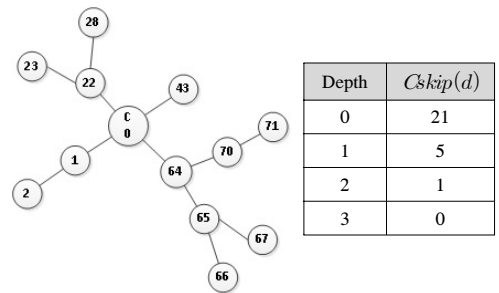


그림 3. 지그비 주소 할당의 예
Fig. 3. Example of Zigbee address allocation

$Cskip(0)$ 의 값 21을 더한 64가 된다. 이와 같은 방식으로 라우터의 주소를 할당하면 그림 3의 주소 값과 같다. 그림 3의 네트워크 구조에서 마지막 깊이인 L_m 이 3인 위치에 있는 노드는 식 (2)를 사용하여 주소를 할당한다. 예를 들어 주소 65를 갖는 노드의 첫 번째 자식 노드는 $Cskip(3)$ 이 0이므로 $65+0 \times 4+1$ 로 계산되어 주소 값이 66이 되고, 두 번째 자식 노드는 $65+0 \times 4+2$ 로 계산되어 주소 값으로 67을 할당받는다.

이와 같이 지그비의 주소 할당 알고리즘은 정해진 네트워크의 라우터 개수, 자식노드의 개수, 네트워크의 깊이를 사용하기 때문에, 네트워크의 노드 배치에 따라 사용하지 않는 주소가 발생하게 되는 단점이 있다. 예를 들어 그림 3의 네트워크 구조에서 노드 22의 주소 깊이는 2에 해당하므로 23~42의 주소 값을 갖는 자식 노드를 가질 수 있다. 하지만 자식 노드가 두 개이므로 주소 값으로 23와 28만 사용되고 나머지 주소는 사용하지 않게 되어 주소의 낭비를 초래하게 된다. 또한 이 주소 할당 알고리즘은 불필요한 홉 카운트(hop count)가 발생하게 되는 단점이 있다. 예를 들어, 43번 노드에서 71번 노드로 데이터를 전송한다고 가정했을 때 노드의 주소 $43 \rightarrow 0 \rightarrow 64 \rightarrow 65 \rightarrow 64 \rightarrow 70 \rightarrow 71$ 의 순서로 목적지 노드를 검색한 후 데이터를 전송한다. 64번 노드는 주소 65와 70의 정보만을 가지고 있기 때문에 목적지 노드 71을 찾기 위해서는 자신의 자식 노드를 모두 검색해야 한다. 따라서 각 노드는 목적지 노드가 1홉 내에 없을 경우, 자신의 1홉 내에 있는 모든 노드를 검색하여 목적지 노드를 찾으므로 불필요한 홉 카운트가 발생하게 된다.

III. 제안하는 라우팅 프로토콜

기존의 분산 해시 테이블 기반의 라우팅 프로토콜들은 주소를 할당해서 데이터를 전송하기 때문에 플러딩 방식이나 위치 정보를 이용하는 방식에 비해 자원을 적게 소모한다. 하지만, 데이터를 전송할 때 위치 정보와 같은 추가 정보를 사용하지 않기 때문에 최단 거리의 전송 경로를 보장하지 못하며, 중복된 주소가 발생하는 단점이 있다.

본 논문에서는 중복된 주소 발생을 최소화하고, 데이터의 최단 전송 경로를 보장하는 라우팅 프로토콜인 VAP(Virtual Address Protocol)를 제안한다. 네트워크내의 모든 노드는 가상 주소와 보조 주소라는 두 가지 정보를 할당받고, 할당받은 주소를 이용하여 전송 경로를 탐색한 후, 목적지 노드로 데이터를 전송한다.

VAP는 기존의 프로토콜보다 데이터 전송 지연 시간을 줄이고, 데이터 전송 경로를 최소화하여 최단 전송 경로를 보장한다.

무선 센서 네트워크는 일반적으로 데이터를 수집하는 환경이기 때문에 모든 데이터를 수집하여 관리하는 싱크 노드가 존재하며 이 노드로 모든 센서 노드가 데이터를 전송한다. 이때, 네트워크의 전송 범위 한계로 인해 데이터는 중간 노드를 거쳐 싱크 노드까지 전송되며, 싱크 노드는 센서 노드를 관리하기 위해 특정 센서 노드로 메시지를 전송할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 일반적인 멀티 홉 무선 센서 네트워크 환경을 고려하였다.

3.1 주소 할당 알고리즘

VAP의 주소 할당은 데이터의 전송 경로를 설정하기 위한 가상 주소와 보조 주소를 각 노드에 할당하는 것이다. 싱크 노드와 센서 노드들은 주소 정보를 이용하여 데이터를 주고받기 때문에 데이터를 전송할 때 노드를 식별할 수 있도록 노드의 주소가 중복되지 않아야 한다. 그림 4는 주소 할당 알고리즘의 의사코드이다. 여기서, N_i 는 네트워크를 구성하는 i 번째 노드를 나타내고, $VA(N_i)$ 와 $SA(N_i)$ 는 각각 Virtual Address와 Sub Address의 약어로, 각 노드에 할당된 가상 주소와 보조 주소를 의미한다. 이때, 가상 주소와 보조 주소는 모두 정수로 표현된 값을 갖는다. 가상 주소는 단일 주소로써 중복된 값을 가질 수 있으며, 싱크 노드로부터의 거리를 나타낸다. 보조 주소는 주소를 표현하는 몇 비트의 값을 가지는 단위 주소의 집합으로 주소 값의 유일성을 보장하기 위해 가상 주소가 중복될 때 추가로 할당되는 주소이다. 그리고 $DA(N_i)$ 는 Destination Address의 약어로, 노드가 데이터를 전송하려는 목적지 노드의 주소를 나타낸다. M_{AAC} 는 주소 할당 완료 메시지를 나타내며, 주소 할당 및 주소 재할당 알고리즘에서 사용된다. 여기서, AAC는 Address Assignment Completion의 약자이다. M_{ARR} 는 주소 재할당 요청 메시지로써, 주소 재할당 알고리즘에서 사용된다. 여기서, ARR은 Address Reassignment Request의 약자이다.

주소 할당 알고리즘은 싱크 노드의 가상 주소를 0으로 할당하는 것으로 시작된다. 싱크 노드는 자신의 이웃 노드에 주소가 할당되지 않은 경우, 자신의 가상 주소에 1을 더한 값을 이웃 노드의 가상 주소로 할당한다. 그리고 가상 주소가 할당된 센서 노드가 보조 주소를 갖는다면, 그 노드와 연결된 이웃 노드들은 서

로 다른 보조 주소를 할당한다. 만약, 싱크 노드의 이웃 노드가 2개 이상이라면, 싱크 노드 자신의 가상 주소에 1을 더한 값을 모든 이웃 노드들의 가상 주소로 할당한다. 즉, 싱크 노드의 이웃 노드들은 동일한 가상 주소를 갖게 된다. 싱크 노드의 이웃 노드들이 동일한 가상 주소를 가지므로, 서로 다른 보조 주소를 할당한다. 이 때, 보조 주소는 중복되지 않도록 0부터 1씩 증가시켜 순차적으로 할당한다. 싱크 노드의 모든 이웃 노드에 주소가 할당되면, 주소 할당 완료 메시지를 모든 이웃 노드에 전송하여 주소 할당 단계를 마친다. 주소 할당 완료 메시지를 받은 노드는 자신의 이

웃 노드 중에 주소를 할당 받지 않은 노드가 있는지 확인한다. 만약, 주소를 할당 받지 않은 노드가 존재한다면 자신의 이웃 노드에 가상 주소와 보조 주소를 할당한다. 싱크 노드를 제외한 네트워크내의 모든 노드들은 중복되지 않는 보조 주소를 가지며, 보조 주소의 중복 할당을 방지하기 위해 여러 개의 보조 주소를 추가로 할당할 수 있다.

그림 5는 제안하는 라우팅 프로토콜 VAP를 설명하기 위해 구성된 네트워크 토폴로지로서, 하나의 싱크 노드와 13개의 센서 노드로 이루어져 있으며 화살표는 노드간의 통신이 가능한 것을 의미한다. 각 노드는 자신의 주소를 가지며, 원 안에 주소를 표시한다. 이 네트워크 토폴로지에 제안하는 라우팅 프로토콜을 적용하여 주소 할당 과정과 데이터 전송 과정을 설명한다.

그림 6은 VAP를 적용한 싱크 노드의 주소 할당을 보여준다. 주소 할당은 싱크 노드부터 시작하고, 싱크 노드는 네트워크에 하나만 존재하므로 가상 주소만을 가지며 시작 주소인 0을 갖는다. 싱크 노드의 이웃 노드인 a, b, c는 싱크 노드의 가상 주소에 1을 더한 주소를 할당받고, 노드 a, b, c의 가상 주소가 1로 동일하므로 각 노드에 서로 다른 보조 주소를 할당한다. 노드 a부터 최상위 보조 주소 자리에 0을 할당하고, 노드 b와 c는 보조 주소 값을 1씩 증가시켜 차례로 할당받는다. 이때, 주소의 각 자리는 온점(.)으로 구분하며, 가장 앞의 정수는 가상 주소를 의미하고 가상 주소 뒤의 정수는 보조 주소를 나타낸다. 보조 주소는 노드의 주소 중복이 발생하지 않도록 1개 이상으로 설정하며, 이때 최상위부터 최하위 순서로 온점으로

```

//Address assignment algorithm
1  if a node  $N_i$  receives a  $M_{AAC}$ , then
2    if there exists a neighbor node of the
       $N_i$  which hasn't been assigned an
      address, then
3    if a number of the neighbor node of
      the  $N_i$  is one, then
4      Set a VA of the neighbor node of
      the  $N_i$  to the  $N_i$ 's VA+1
5    if the  $N_i$  has a SA, then
6      Set the SA of the neighbor node
      of the  $N_i$  to the SA of the  $N_i$ 
7    end if
8  else
9    Set the VA of all the neighbor
      nodes of the  $N_i$  to the  $N_i$ 's VA+1
10   if the  $N_i$  has the SA, then
11     Set the SA of all the neighbor
      nodes of the  $N_i$  to the SA of
      the  $N_i$ 
12   end if
13   Set an additional SA of all the
      neighbor nodes of the  $N_i$  to a
      least number of address that does
      not duplicated other SA of the
      neighbor nodes of the  $N_i$ 
14   end if
15   Transmits a  $M_{AAC}$  to all the neighbor
      nodes of the  $N_i$ 
16   end if
17   end if
    
```

그림 4. 주소 할당 알고리즘의 의사코드
Fig. 4. Pseudocode of address assignment algorithm

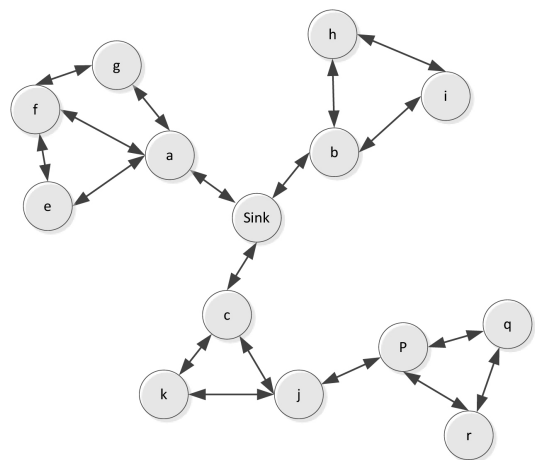


그림 5. 네트워크 토폴로지의 예
Fig. 5. Example of a network topology

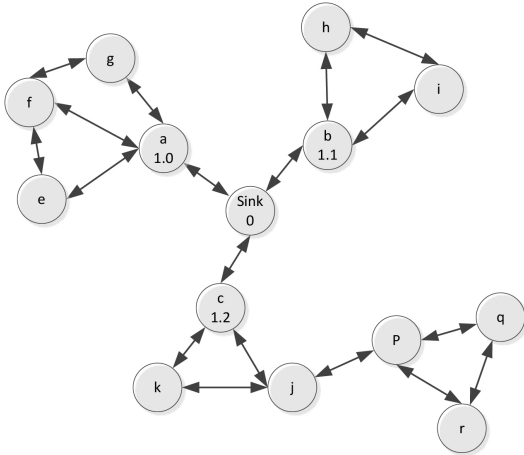


그림 6. 싱크 노드의 주소 할당
Fig. 6. The address allocation of a sink node

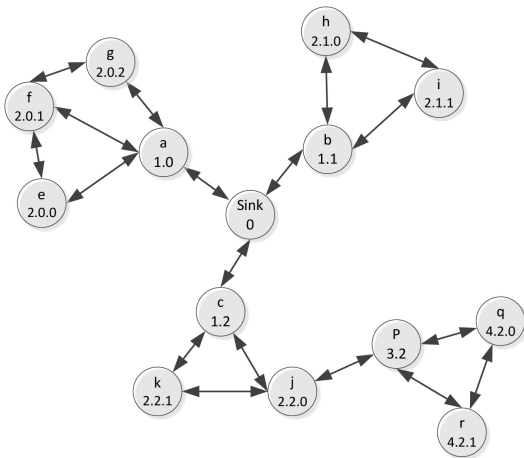


그림 7. 주소 할당이 완료된 네트워크
Fig. 7. Completed the address allocation of a node in network

구분하여 할당한다. 따라서, 싱크 노드의 이웃 노드인 a, b, c는 각각 1.0, 1.1, 1.2의 주소를 할당받는다. 싱크 노드의 이웃 노드인 a, b, c의 주소가 모두 할당되면, 싱크 노드는 주소 할당 완료 메시지를 모든 이웃 노드에 전송하고 주소 할당을 마친다. 주소 할당 완료 메시지를 받은 노드 a, b, c는 자신의 이웃 노드들 중 주소 할당을 받지 않은 이웃 노드들의 주소 할당을 시작한다.

노드 a의 이웃 노드 e, f, g는 주소가 할당되지 않았으므로 노드 a의 가상 주소에 1을 더한 2를 가상 주소로 할당하고, 노드 a의 최상위 보조 주소인 0을 할당한다. 이 때, 노드 e, f, g의 가상 주소와 최상위 보조 주소가 동일하므로, 하위 보조 주소를 0부터 1씩 증가시켜 노드 e에는 0, 노드 f에는 1, 노드 g에는 2를 할

당한다. 따라서, 노드 e는 2.0.0, 노드 f는 2.0.1, 노드 g는 2.0.2의 주소를 할당받는다. 주소 할당이 완료되면 노드 a는 주소 할당 완료 메시지를 모든 이웃 노드에 전송한다. 노드 b도 a와 같은 방법으로 이웃 노드 h, i에 주소를 할당한다. 노드 b의 가상 주소에 1을 더한 2를 노드 h, i의 가상 주소로 할당하고, 자신의 최상위 보조 주소 1을 할당한다. 노드 h와 i의 가상주소와 보조 주소가 2.1로 동일하므로 하위 보조 주소를 노드 h에는 0, 노드 i에는 1을 추가 할당한다. 따라서, 노드 h와 i는 각각 2.1.0, 2.1.1의 주소를 갖는다. 주소 할당이 완료되면 노드 b는 주소 할당 완료 메시지를 모든 이웃 노드에게 전송한다. 노드 c도 노드 a, b와 동일한 방법으로 주소를 할당한다. 이웃 노드 j와 k에 자신의 가상 주소에 1을 더한 2를 할당하고, 자신의 최상위 보조 주소인 2를 할당한다. 노드 j와 k의 가상 주소와 최상위 보조 주소가 동일하므로 하위 보조 주소를 노드 j는 0, 노드 k는 1로 할당한다. 따라서, 노드 j는 2.2.0, 노드 k는 2.2.1의 주소를 갖는다. 주소 할당이 끝나면 주소 할당 완료 메시지를 노드 c의 모든 이웃 노드에 전송한다. 주소 할당 완료 메시지를 받은 노드 j는 자신의 이웃 노드인 노드 p의 주소 할당을 시작한다. 노드 p는 노드 j의 가상 주소에 1을 더한 3과 최상위 보조 주소인 2를 할당받는다. 3.2의 주소를 갖는 노드 p는 가상 주소에 1을 더한 4와 자신의 최상위 보조 주소인 2를 이웃 노드 q와 r에 할당한다. 노드의 가상 주소와 최상위 보조 주소가 동일하므로 하위 보조 주소를 노드 q에는 0, 노드 r에는 1로 할당한다. 따라서 노드 q와 r에는 각각 4.2.0, 4.2.1의 주소가 할당된다. 주소 할당이 완료된 후, 노드 p는 주소 할당 완료 메시지를 모든 이웃 노드에 전송한다. 네트워크 내에 있는 모든 노드의 주소 할당이 끝나면 주소 할당 과정이 완료된다. 그림 7은 주소 할당이 완료된 네트워크를 나타낸다.

3.2 주소 재할당 알고리즘

일반적으로 무선 센서 네트워크 환경은 센서 노드의 제한된 에너지, 주변 환경의 영향 등으로 인해 유선 환경보다 센서 노드의 추가, 삭제 등의 변화가 자주 발생한다. 따라서 무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜은 네트워크 환경의 변화에 유연하게 대처할 수 있어야 한다. 네트워크 토폴로지에서 자신의 주소를 할당해 준 노드가 제거된 경우, 싱크 노드에서 특정 센서 노드로 데이터 전송이 불가능하므로 이를 해결하기 위한 주소 재할당 알고리즘을 제안한다. 그림 8은 주소 재할당 알고리즘의 의사코드이다. 만약

자신의 주소를 할당해 준 이웃 노드가 제거되거나 네트워크 토폴로지에 노드가 추가된 경우, 이웃 노드들의 가상 주소와 보조 주소를 차례로 비교하여 가장 작은 주소를 갖는 노드를 선택한다. 자신의 이웃 노드가 제거된 것은 이웃 노드 중에 자신의 가상 주소에서 1을 뺀 가상 주소와 최하위 보조 주소를 제외한 보조 주소가 일치하는지 확인함으로써 알 수 있다. 그리고 선택된 이웃 노드로 주소 재할당 요청 메시지를 전송한다. 이 메시지를 받은 이웃 노드는 자신의 가상 주소와 보조 주소에 각각 1을 더해 노드의 주소로 할당한다. 만약, 할당된 노드의 주소가 이웃 노드의 주소와 동일하다면, 노드의 하위 보조 주소를 추가로 할당하여 주소가 중복되지 않도록 한다. 노드의 주소 재할당이 완료되면 주소 할당 완료 메시지를 모든 이웃 노

드로 전송한다.

3.3 전송 알고리즘

주소 할당 알고리즘을 통해 모든 노드에 주소가 할당되면 주소를 따라 데이터의 전송 경로를 찾는다. 데이터의 전송 경로는 전송 알고리즘을 통해서 결정된다. 그림 9는 전송 알고리즘의 의사코드이다. 이 알고리즘은 데이터의 목적지 노드 주소와 이웃 노드 주소를 비교하여 데이터를 전송해야 할 다음 노드를 결정한다. 우선 센서 노드에서 싱크 노드로의 데이터 전송은 가상 주소만으로도 수행할 수 있다. 이것은 싱크노드의 가상 주소가 가장 작고 유일한 값인 0을 가지며, 가상 주소가 싱크노드로부터 시작하여 순차적으로 증가하기 때문이다. 반면, 싱크 노드에서 센서 노드로의 데이터 전송은 동일한 가상 주소를 갖는 센서 노드들이 존재하므로 가상 주소만을 사용할 경우 특정 센서 노드로 데이터를 전송할 수 없다. 따라서 센서 노드의 보조 주소를 이용해야 한다.

```

//Address reassignment algorithm
1  if a neighbor node of a  $N_i$  that allocates
    address of the  $N_i$  isn't exist, then
2      Select an another neighbor node of the
         $N_i$  that have the smallest address among
        the neighbor nodes of the  $N_i$ 
3      The  $N_i$  transmits a  $M_{ARR}$  to the selected
        neighbor node of the  $N_i$ 
4      The selected neighbor node of the  $N_i$ 
        sets the  $N_i$ 's  $VA$  to the selected
        neighbor node of  $N_i$ 's  $VA+1$ 
5      The selected neighbor node of the  $N_i$ 
        sets the  $N_i$ 's  $SA$  to the selected
        neighbor node of  $N_i$ 's  $SA$ 
6      if a neighbor node of the  $N_i$  that have
        the same  $VA$  of the  $N_i$ , then
7          The selected neighbor node of the  $N_i$ 
            sets the additional  $N_i$ 's  $SA$  to the
            least number of address that does not
            duplicated the other neighbor node of
            the  $N_i$ 's  $SA$ 
8      end if
9      The  $N_i$  transmits a  $M_{AAC}$  to all the
        neighbor node of the  $N_i$ 
10 end if
    
```

```

//Transmission algorithm
if a  $VA(N_i)$  of a  $DA(N_i)$  and the
1   $VA(N_i)$  of all the neighbor nodes of a
     $N_i$  are not same, then
    Select a neighbor node of the  $N_i$  that
2  have the most similar  $SA(N_i)$  to the
     $DA(N_i)$ 
3  else
    if the  $SA(N_i)$  of the  $DA(N_i)$  and the
4   $SA(N_i)$  of the neighbor nodes of the
     $N_i$  are not same, then
    Select the neighbor node of the  $N_i$ 
5  that have the most similar  $SA(N_i)$  to
    the  $SA(N_i)$  of the  $DA(N_i)$ 
6  else
    Select the  $N_i$  that have the same
7   $SA(N_i)$  as the  $SA(N_i)$  of the  $DA(N_i)$ 
8  end if
9  end if
10 Transmits data packet to the selected neighbor
    node of the  $N_i$ 
    
```

그림 8. 주소 재할당 알고리즘의 의사코드
Fig. 8. Pseudocode of address reassignment algorithm

그림 9. 전송 알고리즘의 의사코드
Fig. 9. Pseudocode of transmission algorithm

센서 노드에서 싱크 노드로 데이터를 전송하는 경우, 목적지 노드의 주소는 싱크 노드의 가상 주소인 0 이 된다. 센서 노드는 이웃 노드의 가상 주소를 목적지 노드의 주소 0과 비교하여 같은 주소를 갖는 이웃 노드가 있는지 검사한다. 같은 주소를 갖는 노드가 없다면 가장 작은 가상 주소를 갖는 노드를 선택하여 데이터를 전송하고, 같은 가상 주소를 갖는 노드가 여러 개라면 가장 작은 보조 주소를 갖는 노드로 데이터를 전송한다. 이 과정의 반복으로 데이터가 목적지 노드에 전송되면 데이터 전송이 완료된다. 싱크 노드에서 센서 노드로의 데이터 전송은 센서 노드의 주소를 비교하여 이루어진다. 싱크 노드는 이웃 노드의 가상 주소를 목적지 노드의 가상 주소와 비교하고, 동일한 가상 주소를 갖는 노드가 여러 개라면 가장 주소의 보조 주소를 목적지 노드의 보조 주소와 비교하여 같은 보조 주소를 갖는 노드로 데이터를 전송한다. 이웃 노드에 동일한 가상 주소를 갖는 노드가 없다면 보조 주소를 비교하여 가장 많이 보조 주소가 일치하는 노드로 데이터를 전송한다. 이 과정은 데이터가 목적지 노드에 도달할 때까지 반복된다.

그림 10은 전송 알고리즘을 적용한 노드의 데이터 전송 순서를 보여준다. 노드 q가 싱크 노드로 데이터를 전송하는 것을 가정한 것으로, 점선은 전송 방향을 나타낸다. 노드 q는 이웃 노드의 주소를 확인하여, 싱크 노드에 가까운 노드로 데이터를 전송한다. 노드 q의 이웃 노드인 노드 p와 r 중에서 노드 p의 가상 주소가 노드 q보다 작으므로 노드 p로 데이터를 전송한다. 노드 p는 가상 주소값이 작은 노드 j로 데이터를 전송하고, 노드 j는 노드 c로 데이터를 전달한다. 노드 c는 싱크 노드와 이웃 노드이므로 싱크 노드로 데이터를 전송하고, 싱크 노드가 데이터를 받으면 전송 알고리즘의 동작은 완료된다.

그림 11은 싱크 노드에서 센서 노드로의 데이터 전송 순서를 나타낸다. 싱크 노드가 노드 q로 데이터를 전송하는 것을 가정한 것으로, 점선은 전송 방향을 나타낸다. 싱크 노드는 노드 q의 주소를 자신의 이웃 노드인 a, b, c와 비교하는데, 노드 a, b, c는 동일한 가상 주소를 가지므로 보조 주소를 노드 q의 보조 주소와 비교한다. 노드 c는 노드 q와 최상위 보조 주소가 동일하므로 싱크 노드는 노드 c로 데이터를 전송하고 노드 c는 자신의 이웃 노드인 노드 k와 j의 주소를 노드 q와 비교한다. 노드 k와 j는 가상 주소와 최상위 보조 주소가 동일하므로 하위 보조 주소를 노드 q와 비교하고, 노드 q와 하위 보조 주소가 동일한 노드 j로 데이터를 전송한다. 노드 j는 노드 q와 보조 주소가 동

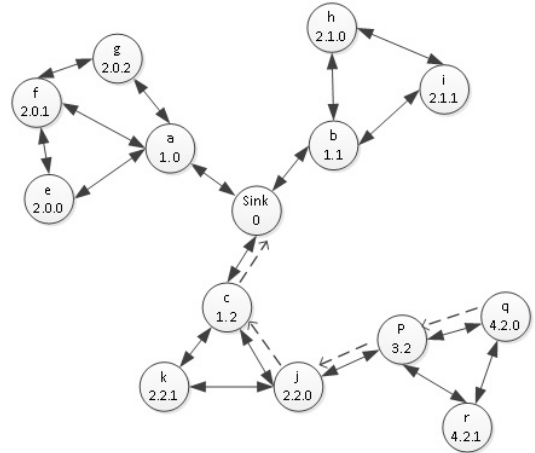


그림 10. 센서 노드에서 싱크 노드로의 데이터 전송 순서
Fig. 10. Data transmission procedure from sensor node to sink node

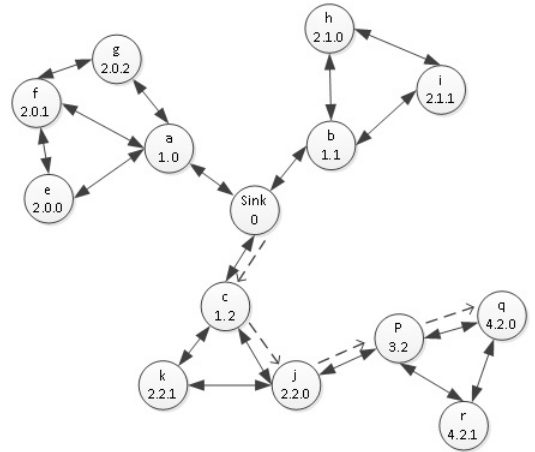


그림 11. 싱크 노드에서 센서 노드로의 데이터 전송 순서
Fig. 11. Data transmission procedure from sink node to sensor node

일하고 가상 주소가 1만큼 큰 노드 p로 데이터를 전송하고, 노드 p는 최종 목적지 노드인 노드 q로 데이터를 전송한 후, 전송 알고리즘은 완료된다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

이 장에서는 제안한 프로토콜의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션 환경을 정의하고, 제안한 라우팅 프로토콜과 기존의 라우팅 프로토콜의 전송 경로 길이, 주소 표현에 필요한 비트 수, 그리고 데이터 지연 시간을 비교 및 분석하여 기술한다.

4.1 시뮬레이션 환경

무선 센서 네트워크에서는 토폴로지가 임의로 형성될 수 있으므로, 다양한 형태의 네트워크 토폴로지 환경에서 시뮬레이션 하였다. 네트워크 영역의 크기는 500×500 제곱미터로 정하고, 노드의 개수를 100개에서 500개까지 50개씩 증가시켜 평가하였다. 싱크 노드와 센서 노드의 통신 범위와 데이터 전송 속도는 무선 센서 네트워크 환경에서 주로 사용되는 지그비의 성능을 반영하여 반경은 80m, 전송 속도는 20Kbps, 각 노드에서 전송하는 데이터 크기는 625bytes로 정해 시뮬레이션 하였다. 이러한 환경에서 VAP, VCP, *Cskip* 알고리즘 및 VRR 프로토콜을 적용하여 1000번 시뮬레이션 하였다. *Cskip* 알고리즘은 Zigbee 표준에 정의되어 있는 알고리즘으로 분산 주소 할당 기법을 사용한다. 먼저 노드 수의 변화에 따른 총 전송 경로 길이의 변화를 비교함으로써 데이터 전송에 영향을 미치는 전송 경로 탐색 성능을 평가하였다. 그리고 노드 수의 변화에 따라 주소 표기에 필요한 비트 수의 변화를 비교하여 노드의 메모리 자원 사용량을 비교하였다. 마지막으로 데이터의 전송 지연 시간을 측정하여 프로토콜의 성능을 평가하였다.

4.2 성능평가

그림 12는 각 라우팅 프로토콜의 노드 수에 따른 총 전송 경로 길이에 대한 평균을 나타내며, 평균은 1000번의 시뮬레이션으로 얻은 값이다. 전송 경로의 길이가 짧을수록 싱크 노드로 데이터를 빠른 시간 내에 전송할 수 있으므로, 값이 작을수록 프로토콜의 성능이 좋다고 할 수 있다. 총 전송 경로 길이 *TotalPathLength*는 n 개의 센서 노드를 갖는 네트워크에서 센서 노드 i 와 싱크 노드 s 간의 전송 경로의 길이 $PathLength_{i,s}$ 를 모두 더한 것이다. *TotalPathLength*는 식 (4)를 사용하여 계산한다.

$$TotalPathLength = \sum_{i=1}^n (PathLength_{i,s}) \quad (4)$$

VRR 프로토콜은 임의의 주소를 할당하여 데이터를 전송하므로 최단 전송 경로로의 데이터 전송을 보장하지 못한다. 따라서, 다른 프로토콜보다 긴 전송 경로로 데이터를 전송한다. VCP는 VRR 프로토콜의 단점을 보완하여 이웃 노드와 연관성 있는 주소를 할당하기 때문에, VRR 프로토콜보다 전송 경로 길이가 짧은 것을 확인할 수 있다. 하지만 주소에 담긴 정보

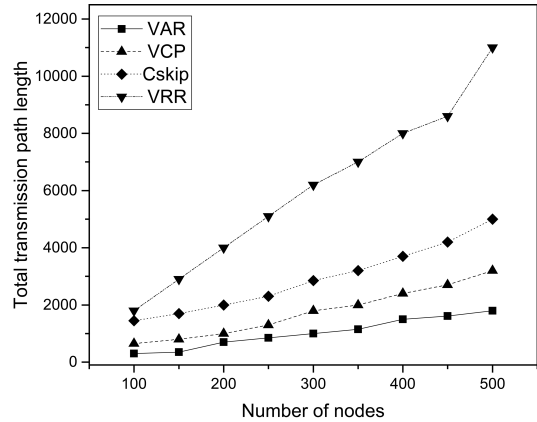


그림 12. 총 전송 경로 길이에 대한 평균
Fig. 12. The average for the total length of the transmission path

가 부족하여 최단 전송 경로로의 데이터 전송을 보장하지 못하므로 VAP보다 전송 경로의 길이가 긴 것을 알 수 있다. *Cskip* 알고리즘은 자신의 네트워크 깊이에 따라 서로 다른 주소를 할당하지만, 데이터를 전송하기 위해 자신의 1홉 내에 있는 노드를 모두 검색하여 목적지 노드를 찾아야 하므로 불필요한 홉 카운트가 발생하게 되어 데이터의 전송 경로가 VAP와 VCP보다 길다. VAP는 이웃 노드간에 연관성 있는 가상 주소와 보조 주소를 할당하여 데이터를 전송하므로 최단 전송 경로 보장한다. 따라서, 다른 프로토콜보다 가장 짧은 전송 경로를 이용하여 데이터를 전송하는 것을 그래프를 통해 확인할 수 있다. VAP보다 VCP가 평균 1.93배, *Cskip* 알고리즘이 2.85배, VRR 프로토콜이 6.67배 긴 전송 경로를 이용하는 것을 알 수 있다. 따라서 VAP가 VCP, VRR 프로토콜, *Cskip* 알고리즘보다 최적의 전송 경로 보장으로 네트워크의 성능을 향상시킨다. 그리고 데이터의 총 전송 경로 길이는 각 노드의 전송 경로 길이를 더한 것이므로, 노드의 수가 증가할수록 전송 경로 길이의 수가 증가하게 된다. 따라서 노드의 수가 증가함에 따라 총 전송 경로 길이가 증가하는 것을 알 수 있다.

그림 13은 각 프로토콜의 주소 표현에 사용된 비트 수에 대한 평균을 나타낸다. 주소 표현에 사용된 비트 수는 적을수록 노드의 메모리 자원을 적게 사용한 것이므로 프로토콜의 성능이 좋다고 할 수 있다. VCP는 시작 주소인 0과 마지막 주소인 1 사이의 실수 값을 각 노드의 주소로 할당하며, 주소를 표현하는데 필요한 최대 비트 수는 식 (5)를 사용하여 계산한다. 이 프로토콜은 주소 값을 실수로 표현하므로 다른 프로토

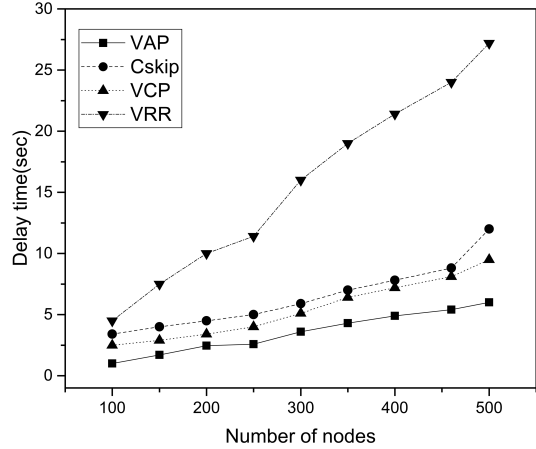


그림 14. 데이터 지연 시간에 대한 평균
Fig. 14. The average for data delay time

그림 13. 주소 표현에 사용된 비트 수에 대한 평균
Fig. 13. The average for the number of bits used to represent address

콜보다 주소 표현에 많은 비트 수가 필요한 것을 알 수 있다. 또한, 네트워크를 구성하는 노드의 개수가 증가할수록 노드를 표현하는 주소가 길어져 주소를 표현하는데 가장 많은 비트 수가 요구된다. VAP는 가상 주소와 보조 주소를 사용하므로 주소를 표현하는데 필요한 최대 비트 수는 식 (6)과 같다. 가상 주소와 보조 주소만을 사용하므로 다른 프로토콜보다 가장 적은 비트 수를 사용하는 것을 알 수 있다.

$$Number\ Of\ Address\ Bits_{VCP} = \log_2 \max (Value\ Of\ Addresses) \quad (5)$$

$$Number\ Of\ Address\ Bits_{VAP} = (\log_2 \max (Value\ Of\ Virtual\ Addresses) + (\log_2 \max (Value\ Of\ Sub\ Addresses) \times Number\ Of\ Sub\ Addresses)) \quad (6)$$

입의로 주소를 할당하는 VRR 프로토콜은 주소를 표현하는데 VCP보다 적은 비트 수가 필요하다. 하지만 이웃 노드의 주소를 라우팅 테이블에 저장하므로 이웃 노드의 주소 정보만을 사용하는 VAP보다 많은 비트 수를 요구한다. 따라서 VAP보다 많은 비트 수를 사용하고, VCP보다는 적은 비트 수가 요구되는 것을 알 수 있다. 그리고 Cskip 알고리즘은 주소를 한 자리의 정수 값으로 표현하므로 노드의 홉 수가 증가할 때마다 주소의 길이가 늘어나는 VAP보다 적은 수의 비트 수를 사용한다. 시뮬레이션 결과, 제한한 프로토콜 VAP보다 VCP가 평균 3.41배, VRR 프로토콜이 평균 1.64배 많은 비트 수를 사용하고, VAP가 Cskip 알고리즘보다 1.25배 많은 비트 수를 사용하는 것을

확인할 수 있다.

그림 14는 노드 수에 따른 데이터 지연 시간에 대한 평균을 나타낸다. 여기서 지연 시간은 각 노드에서 생성된 데이터가 싱크 노드로 전달되기까지 걸리는 시간을 의미한다. 지연 시간이 짧을수록 데이터를 빠르게 전달하므로 프로토콜의 성능이 좋다고 할 수 있다. VRR 프로토콜과 VCP, Cskip 알고리즘은 최단 경로로의 데이터 전송을 보장하지 못하므로 VAP보다 전송 지연 시간이 길고, 가상 주소와 보조 주소를 사용하여 데이터를 전송하는 VAP의 지연 시간이 가장 짧은 것을 확인할 수 있다. 시뮬레이션 결과 VAP보다 VRR 프로토콜은 평균 5.34배, Cskip 알고리즘은 평균 1.83배, VCP는 평균 1.72배 긴 지연 시간을 갖는다. 또한, 네트워크의 토폴로지를 구성하는 노드의 수가 증가할수록 싱크 노드가 수집해야 하는 데이터의 양이 많아지므로 데이터의 지연 시간이 증가하지만, VAP가 다른 프로토콜보다 전체적으로 지연 시간이 짧아 네트워크의 성능이 뛰어난 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크 환경에서 제한된 자원을 효율적으로 사용하며 싱크 노드와 센서 노드 간에 최단 전송 경로를 찾아 데이터를 전송하는 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 이 프로토콜은 각 노드에 이웃 노드와 연관된 주소를 할당하고 할당된 주소를 통해 최적의 전송 경로를 찾는다. 노드의 주소는 싱크 노드로부터 시작하여 트리 형식으로 중복되지 않도록 할당하고, 할당된 주소를 기반으로 데이터의

목적지 주소와 이웃 노드들의 주소를 비교하여 데이터의 전송 경로를 찾는다. 그리고 주소 표기 방식의 변경으로 주소를 표현하는데 필요한 비트 수가 감소하여 센서 노드의 메모리 사용량이 줄어들고, 최단 전송 경로의 보장으로 데이터 전송 지연이 감소되어 네트워크의 성능이 향상되었다.

제안한 프로토콜의 성능을 평가하기 위해 동일한 임의의 토폴로지 환경에서 시뮬레이션을 수행하였고, VRR, VCP, *Cskip* 알고리즘 그리고 VAP의 노드 수 변화에 따른 전송 경로 길이, 주소 표현에 필요한 비트 수, 데이터 지연 시간을 비교하였다. VAP는 VRR 프로토콜보다 전송 경로 길이는 평균 6.67배, 주소 표현에 필요한 비트 수는 1.64배, 지연 시간은 평균 5.34배 향상되었고, VCP보다 각각 평균 1.87배, 3.41배, 1.72배 향상되었다. 그리고 VAP는 *Cskip* 알고리즘보다 전송 경로 길이는 평균 2.85배, 지연 시간은 평균 1.83배 향상되었고, 주소 표현에 필요한 비트 수는 1.25배 감소하였다. 따라서 제안한 프로토콜 VAP가 노드간의 중복되지 않는 주소 사용으로 전송 경로 및 하드웨어 자원의 사용을 최소화하여, 데이터 전송의 성능을 향상시키는 효율적인 프로토콜임을 알 수 있다.

References

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: A survey," *Computer Netw.*, pp. 393-422, Dec. 2001.
- [2] K. Levchenko, G. M. Voelker, R. Paturi, and S. Savage, "XL: An efficient network routing algorithm," *ACM SIGCOMM '08 Conf. Data Commun.*, pp. 15-26, Oct. 2008.
- [3] J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, "Wireless sensor network survey," *Comput. Netw.*, pp. 2292-2330, Aug. 2008.
- [4] C. E. Jones, K. M. Sivalingam, P. Agrawal, and J. C. Chen, "A survey of energy efficient network protocols for wireless networks," *Wirel. Netw.*, pp. 343-358, Aug. 2001.
- [5] J. Zhu and X. Wang, "PEER: A progressive energy efficient routing protocol for wireless ad hoc networks," in *Proc. IEEE, INFOCOM 2005*, pp. 1887-1896, Mar. 2005.
- [6] D. K. Rodrigue, I. Amadou, G. Chelius, and F. Valois, "Routing protocols: When to use it in terms of energy," *IEEE WCNC 2012*, pp. 2763-2768, Apr. 2012.
- [7] K. Akkaya and M. Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, pp. 325-349, May 2005.
- [8] G. Fersi, W. Louati, and M. Ben Jemaa, "Distributed hash table-based routing and data management in wireless sensor networks: A survey," *Wirel. Netw.*, pp. 219-236, Feb. 2013.
- [9] J. J. Garcia-Luna-Aceves and D. Sampath, "Scalable integrated routing using prefix labels and distributed hash tables for MANETs," *IEEE MASS '09*, pp. 188-198, Oct. 2009.
- [10] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing," *Mob. Comput. Syst. Appl.*, pp. 90-100, Feb. 1999.
- [11] R. Ding and L. Yang, "A reactive geographic routing protocol for wireless sensor networks," *ISSNIP*, pp. 31-36, Dec. 2010.
- [12] W. H. Liao, J. P. Sheu, and Y. C. Tseng, "GRID: A fully location-aware routing protocol for mobile ad hoc networks," *Telecommun. Syst.*, pp. 37-60, Sept. 2001.
- [13] M. Caesar, M. Castro, E. B. Nightingale, G. O. Shea, and A. Rowstron, "Virtual ring routing: Network routing inspired by DHTs," *SIGCOMM '06*, pp. 351-362, Oct. 2006.
- [14] A. Awad, R. German, and F. Dressler, "Exploiting virtual coordinates for improved routing performance in sensor networks," *Mob. Comput.*, pp. 1214-1226, Sept. 2011.
- [15] M. Caleffi and L. Paura, "M-DART: multi-path dynamic address routing," *Wirel. Commun. and Mob. Comput.*, pp. 392-409. 2011.
- [16] S. Jain, Y. Chen, Z. Zhang, and S. Jain, "VIRO: A scalable, robust and namespace independent virtual id routing for future networks," *IEEE INFOCOM*, pp. 2381-2389, Jun. 2011.
- [17] *Zigbee Alliance*, "Zigbee specification," Dec. 2006.

김 지원 (Jiwon Kim)



2007년 2월 : 건양대학교 전자
정보공학과 졸업
2009년 8월 : 인하대학교 전자
공학과 석사
2010년 3월~현재 : 인하대학교
전자공학과 박사과정

<관심분야> 센서 네트워크, 무선 통신, 컴퓨터 네트
워크, 멀티미디어 통신

최 상 방 (Sangbang Choi)



1981년 2월 : 한양대학교 전자
공학과 졸업
1981년~1986년 : LG정보통신
1988년 2월 : University of
washington 석사
1990년 2월 : University of
washington 박사

1991년~현재 : 인하대학교 전자공학과 교수
<관심분야> 컴퓨터 구조, 컴퓨터 네트워크, 무선 통
신, 병렬 및 분산 처리 시스템

조 태 환 (Taehwan Cho)



2001년 2월 : 인하대학교 항공
우주공학과 졸업
2014년 2월 : 인하대학교 전자
공학과 석사
2014년 12월~현재 : 공군사관학
교 전자공학과 조교수

<관심분야> 항공전자 시스템, 항공통신