

# Hierarchical Routing Algorithm for Improving Survivability of WSAAN

Ji-Yong Cho\*, Seung-Kwon Choi\*\*, Yong-Hwan Cho\*\*\*

## Abstract

This paper proposes a hierarchical routing algorithm for enhancing survivability of sensor nodes on WSAAN. Proposed algorithm has two important parts. The first is a clustering algorithm that uses distance between sensor and actor, and remaining energy of sensor nodes for selecting cluster head. It will induce uniform energy consumption, and this has a beneficial effect on network lifetime. The second is an enhanced routing algorithm that uses the shortest path tree. The energy efficient routing is very important in WSAAN which has energy limitation. As a result, proposed algorithm extends network and nodes lifetime through consuming energy efficiently. Simulation results show that the proposed clustering algorithm outperforms conventional routing algorithms such as VDSPT in terms of node and network life time, delay, fairness, and data transmission ratio to BS.

▶ Keyword : WSN, WSAAN, Clustering, Hierarchical Routing

## I. Introduction

최근 단순히 센싱 정보를 수집하여 전달하는 기능만을 수행하는 WSN(Wireless Sensor Network)은 액터를 통해 네트워크 영역 내에서 미리 정의된 특정한 액션을 수행할 수 있는 WSAAN(Wireless Sensor and Actor Network)으로 발전하였다. 그러나 WSAAN은 액터의 추가로 인해 기존 WSN에서 사용하던 라우팅 기법 등을 그대로 응용하기 어려워지는 문제를 야기하게 된다.

WSAN 기반 사물 인터넷을 구현하기 위한 방법으로는 기존의 WSN에서 사용되던 계층적 라우팅 기법인 LEACH[1] 등을 활용할 수 있으며, WSAAN을 위해서는 VDSPT[2], HERO[3] 등의 기법이 제안되었다. 그러나 기존의 기법들은 센서 노드의 에너지 정보나 액터의 위치를 고려하지 않고 클러스터링을 수행하므로 노드의 수명이 감소하고 전체 네트워크의 수명도 이에 따라 감소하게 된다.

이에 따라 본 논문에서는 WSAAN의 생존성 향상을 위한 개선된 계층적 라우팅 알고리즘을 제안하고자 한다. 이는 기본적으로 WSN에서 사용되던 계층적 라우팅 방법인 클러스터링에 기반하고 있으나 액터가 존재하는 WSAAN의 특성에 맞추어 개선하였다.

## II. Preliminaries

### 1. Related works

사물인터넷은 RFID와 기타 센서를 일상생활에 사용하는 사물에 탑재한 새로운 형태의 네트워크로 대표적인 활용분야를 보면 M2M(Machine-to-Machine) 통신, M2I(Machine-to-Infrastructure) 통신, 원격건강관리, 차량의 모니터링 및 펌웨어 업그레이드, 이동 중인 상품의 자산 추적, 자동 교통 관리, 원격 보안 및 제어, 환경 무선 모니터링 및 제어, 가정 및 산업용 건물 자동화 등을 들 수 있다[4]. 따라서 사물인터넷을 구현하기 위해서는 센싱 및 데이터 수집 기능이 필수적이며 WSN 또는 WSAAN과의 연동이 필요하다.

특히 WSAAN에서는 센서가 이벤트를 감지하여 이벤트 정보를 에너지와 컴퓨팅 자원이 충분한 액터에게 전송하고 액션을 수행하도록 한다. 또는 BS(Base Station)으로 전송하여 이를 통해 액터에게 적절한 명령을 내리도록 할 수도 있다. 액터에게 직접 데이터를 전송하는 경우는 중앙에서 제어 역할을 수행하는 노드가 없이 분산적으로 처리되므로 자동(Automated) 구조라 한다. BS를 통하는 경우는 BS가 센서와 액터 사이에서 데이터를 수집하고 액션과정을 제어하므로 반자동(Semi-automated) 구조라 한다[5]. 자동과 반자동 구조에서

\*First Author: Ji-Yong Cho, Corresponding Author: Yong-Hwan Cho

\*Ji-Yong Cho (jycho30@hanmail.net), Dino ICT Co, Ltd.

\*\*Seung-Kwon Choi (skchoi1972@hotmail.com), Dept. of Computer Education, Seowon University

\*\*\*Yong-Hwan Cho(yhcho@cbnu.ac.kr), Dept. of Computer Engineering, Chungbuk National University

• Received: 2015. 11. 25, Revised: 2015. 12. 01, Accepted: 2016. 01. 30.

• This paper was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2014

수집된 데이터의 목적지는 다음과 같이 분류할 수 있다[6]. 첫 번째는 BS로 데이터를 전송하는 경우이다. 수집된 데이터는 클러스터 헤드를 통해 BS로 전송되며 이는 WSN 게이트웨이를 통해 인터넷으로 전송된다. 인터넷 상의 서버는 네트워크에 필요한 반응을 지시하며 이를 통해 액터가 서비스를 수행하게 된다. 두 번째는 액터로 직접 데이터를 전송하는 경우이며 실시간 반응이 필요한 경우 센서 노드에서 액터로 데이터를 직접 전송할 수도 있다. 세 번째는 BS와 액터 모두에게 데이터를 전송하는 경우로 액터에게 수집된 데이터를 전송하여 빠른 시간에 반응을 이끌어 내고 이를 BS를 통해 보고하는 형식이다.

이러한 센서 및 액터로 구성되는 WSN 기반 사물인터넷에서의 데이터 흐름은 그림 1과 같은 구성을 가진다[7].

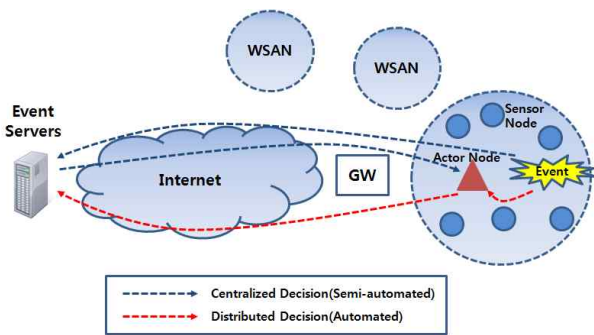


Fig. 1. WSN based IoT Network Architecture and Data Flow

그림 1에서 보는 바와 같이 이벤트 발생시 정보는 WSN의 게이트웨이를 통해서 인터넷에 연결되어 있는 이벤트 서버로 전달되고 이후 필요한 서비스의 실행 커맨드가 액터 노드로 전달된다. 이는 중앙 결정 방식(반자동 구조)로 좀 더 신중한 서비스 결정이 가능하여 서비스 신뢰도는 높일 수 있지만 신속하지 못한 결정이 될 가능성이 높아서 비교적 빠른 판단이 필요한 서비스에는 적합하지 않다. 반면 분산 결정방식(자동 구조)은 그림에서 보는 바와 같이 이벤트에 대한 정보를 센서 노드로부터 받아서 액터 노드가 직접 서비스를 제공하고 이후 서버에게 이에 대한 보고를 전달하는 방식이다. 이 방법은 빠르게 서비스를 제공할 수 있는 장점은 있으나 이벤트 분석에 신뢰도가 낮아질 수 있는 문제점이 있다. 중앙결정 방식과 분산결정 방식은 이용하는 서비스에 따라 결정된다.

### III. Proposed Hierarchical Routing Algorithm

#### 1. 알고리즘개요

사물인터넷이 활용되는 환경 감시, 군사적 운용, 스마트 시티, 스마트 의료, 기후-스마트 농업 등의 어플리케이션을 살

펴보면 데이터가 디바이스나 서버, BS, 액터, 사용자 또는 이들 모두에게 전송되어야 한다. 이렇게 다수의 목적지로 데이터를 보내고 다시 사용자나 서버의 명령을 디바이스로 전달하기 위해서는 WSN에서 사용되는 것과 유사한 에너지 효율적인 라우팅이 필요하며 특히 에너지가 제한된 센서 노드를 위해서는 작은 트래픽과 작은 송신전력이 중요함을 알 수 있다.

그러나 기존의 WSN을 위한 라우팅 알고리즘들은 액터가 추가된 WSN에 그대로 적용하기에는 문제가 있다. 예를 들어 평면 라우팅의 경우 방대한 라우팅 테이블을 유지하거나 데이터 전송시마다 경로를 탐색하여 관리의 어려움, 데이터의 실시간 전송이 어려운 문제점이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 액터가 직접 클러스터 형성 단계에 참여하는 계층적 라우팅 기법을 제안한다. 클러스터 헤드는 가장 에너지 소모가 많으며 다른 클러스터 헤드나 액터와 빈번한 통신을 하므로 이들 사이의 데이터 전송에서 에너지 소모를 작게 하는 것이 유리하다. 데이터 전송에 필요한 에너지는 노드 사이의 거리에 비례하므로 클러스터 헤드와 액터 노드는 근거리에서 위치하여야 작은 전력으로 통신이 가능하다. 이에 따라 제안 기법은 제안 기법은 액터에 대한 노드의 상대적 위치에 따라 클러스터 헤드를 선정한다.

또한 센서 노드들의 에너지 소모를 균일하게 하여 네트워크 수명을 증대시키기 위해 노드의 잔여 에너지를 기반으로 클러스터 헤드를 선정하고 클러스터를 형성한다. 클러스터의 형성이 완료되면 최단거리트리를 구성하고 트리의 경로에 따라 BS로 수집된 데이터를 전송한다.

#### 2. 클러스터 형성

WSN에서 클러스터 형성 단계는 네트워크 내의 모든 센서들과 액터들의 신뢰성 있고 효율적인 통신을 위해 매우 중요한 단계이다. 클러스터 형성과 클러스터 헤드 선정은 다음과 액터 노드의 위치를 고려하여 액터와 가까운 거리에 있는 노드를 선정하며, 후보 노드 중 에너지 수준이 가장 높은 노드를 선정한다. 또한, 액터 노드와의 거리, 그리고 노드의 잔여 에너지는 가중치를 통해 조절할 수 있다. 이는 제공하고자 하는 서비스, 액터의 수 등에 따라 거리와 에너지의 중요도가 달라질 수 있기 때문이다.

클러스터 헤드의 선정과 클러스터의 형성은 BS에서 액터 노드로 Init\_MSG를 전송하면서 시작된다. BS에서 액터 노드로 전송된 메시지는 브로드캐스팅되어 다른 액터 노드들에게 전달된다. Init\_MSG가 전송되는 시점에서는 센서 노드들이 이웃 노드에 대한 정보가 전혀 없으며 액터 노드들도 다른 액터 노드의 위치를 알지 못하므로 브로드캐스팅을 통해 자신의 존재를 알린다.

액터 노드의 무선 출력은 센서 노드에 비해 강하며 넓은 영역에 전송될 수 있다. 따라서 액터 노드가 전송하는 브로드캐스팅 메시지는 다수의 센서 노드들이 수신할 수 있으며 클

러스터 구성이 시작되었음을 인지한다. 또한 메시지 수신 강도에 따라 자신에게 가장 가까운 액터의 ID를 알 수 있고 수신 전력을 통해 대략적인 액터와의 거리도 유추할 수 있다.

센서 노드들은 Init\_MSG를 수신하면 여기에 자신의 ID, 에너지 잔량, 액터와의 거리 등에 대한 정보를 담아 그림 2와 같은 메시지를 이웃 노드에게 전달한다. 모든 센서 노드들은 이를 통해 자신의 이웃 노드들에 대한 정보를 공유하게 되며 이를 이용하여 클러스터 헤드를 선출한다.

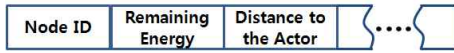


Fig. 2. Init\_MSG

타이머를 이용하여 일정 시간동안 이웃 노드들로부터 메시지를 수신하면 센서 노드는 모든 이웃 노드의 액터와의 거리와 에너지 잔량을 알 수 있다. 이를 자신의 거리와 에너지 잔량과 비교하여 자신이 액터 노드에 가장 가까우면서 최대 에너지를 가진 노드라면 클러스터 헤드로 선출된다. 센서 노드들이 배치된 초기에는 네트워크 내의 모든 센서들의 에너지 잔량이 동일하므로 이때는 액터에서 가장 가까운 노드가 클러스터 헤드로 선정된다. 그러나 시간이 흐름에 따라 노드들은 이벤트 수집과 수집된 데이터 전송, 클러스터링을 위한 브로드캐스팅 등으로 에너지를 소모하게 되며 각 노드들의 에너지 소모량은 서로 달라지게 된다. 따라서 이때부터는 노드의 에너지 잔량이 클러스터 헤드를 선정하는데에 영향을 미치게 된다.

클러스터 헤드 선출을 위해서는 앞에서 설명한 바와 같이 액터와의 거리와 노드의 에너지 잔량을 사용하게 되며, 이때 클러스터 헤드 선출에 사용되는 확률식은 다음과 같다.

$$P_{CH}^i = \alpha \frac{E_{res}^i}{E_{max}} + (1-\alpha) \left(1 - \frac{d(n_i, a_i)}{d_{max}}\right) \quad (1)$$

식 1에서  $P_{CH}^i$ 는 노드  $i$ 의 클러스터 헤드 선출 확률로 0과 1 사이의 값을 가진다.  $E_{res}^i$ 는 노드의 현재 에너지 잔량,  $E_{max}$ 는 초기 에너지를 나타내며 이는 노드의 에너지 정보를 나타낸다.  $d_{max}$ 는 센서 노드 신호의 최대 반경(거리)이며  $d(n_i, a_i)$ 는 센서 노드  $n_i$ 와 액터  $a_i$ 의 거리를 나타낸다.  $\alpha$ 는 노드의 에너지 잔량과 액터와의 거리에 대한 가중치이다. 여기서  $\alpha$ ,  $E_{max}$ ,  $d_{max}$ 는 상수이다.

첫 번째 항의  $E_{res}^i/E_{max}$ 는 노드의 초기 에너지 대비 현재 노드가 가지고 있는 에너지의 비율을 나타낸다. 모든 노드는 초기에 동일한 에너지를 가지고 배치되어 있으므로 배치 초기에 첫 번째 항은 의미가 없다. 그러나 시간이 흐름에 따라 이벤트 유무, 클러스터 헤드 수행 여부 등에 따라 각 노드의 에너지 잔량은 차이가 생긴다. 이에 따라 높은 에너지 잔량을 가지는 경우 높은 확률 값을 보이고 낮은 에너지 잔량을 가지는 경우 낮은 확률 값을 가지도록 하였다. 이는 잔여 에너지가 많은 노드가 클러스터

헤드가 될 확률을 높이기 위함이다. 높은 에너지를 가지는 노드가 클러스터 헤드가 될 경우 이 노드는 액터와의 통신, 또는 BS와의 통신으로 인해 에너지 소모가 많아질 것이며 이에 따라 노드의 에너지 잔량은 감소하게 된다. 이에 따라 다음 번 클러스터 구성 때에는 이 노드의 클러스터 헤드 선출 확률은 낮아지게 되며, 다른 노드들의 에너지 잔량이 낮아지게 되면 다시 클러스터 헤드로 선출될 수 있다.

두 번째 항은 거리와 관련된 항으로 노드의 최대 신호 반경과 현재 액터와 센서 노드 사이의 거리에 대한 비율을 나타내며 센서 노드가 액터에서 얼마나 멀리 위치하고 있는가를 나타낸다. 만약 거리가 가까운 경우 이 항의 값은 증가하며 거리가 먼 경우 이 값은 감소하게 된다. 식 1에서 노드와 액터의 거리  $d$ 는 GPS(Global Positioning System)가 없는 경우 자신의 절대 위치를 알 수 없으므로 신호의 강도에 따라 대략적인 액터와의 위치 측정을 수행한다.

센서노드의 위치와 상대적 거리를 알 수 있는 가장 간단한 방법으로 RSSI(Received Strength Signal Indicator)가 가장 많이 사용되고 있으며 제안 기법도 이를 따른다. RSSI는 수신되는 신호의 세기가 거리에 따라 달라지는 점에 기반을 두고 거리를 추정하는 방식이다. 송신 노드는 정해진 세기로 신호를 전송하고 이를 수신한 노드는 감쇄된 신호의 세기를 이용하여 거리를 측정할 수 있다. 즉, 수신 노드가 송신 노드로부터 신호를 수신하면 거리에 따른 신호 감쇄를 사용하여 거리를 추정할 수 있다. 신호의 전송 세기는 이미 알려져 있고 수신 신호의 세기는 측정에 의해 구해진다. 따라서 송신 신호의 전송 손실은 이들 사이의 차로 계산되며 Friis의 공식을 이용하여 구할 수 있다[8].

$$L = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) [dB] \quad (2)$$

여기서  $\lambda$ 는 전파의 파장을 나타내며 거리  $d$ 와 동일한 단위를 사용한다. 또한 수신 노드와 송신 노드 사이의 거리  $d$ 를 추정하기 위해 다음의 식을 사용한다.

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} 10^{L/20} = \frac{c}{4\pi f} 10^{L/20} \quad (3)$$

따라서 노드와 액터와의 거리를 상기의 식에 따라 구할 수 있으며 식 1의 확률식에 따라 노드의 클러스터 헤드 선출 확률을 구하고 가장 높은 확률 값을 가지는 노드가 클러스터 헤드로 선출되도록 한다.

상기에서 설명한 클러스터 형성 과정을 순서대로 요약하면 그림 3과 같다.

그림 4는 클러스터 형성 과정을 의사코드의 형태로 기술한 것이다. 클러스터 형성이 시작되면 각 노드들은 액터와의 거리와 자신의 에너지 잔량을 고려하여 클러스터 헤드 선출 확률을 구하고 이를 이웃 노드들과 비교하여 가장 높은 확률 값을 가지는 노드가 클러스터 헤드로 선출된다. 이후 모든 노드들이 클러스터 헤드의 광고 메시지를 받고 자신과 가장 가까운 클러스터 헤드에 가입하면 클러스터 형성 과정이 종료된다.

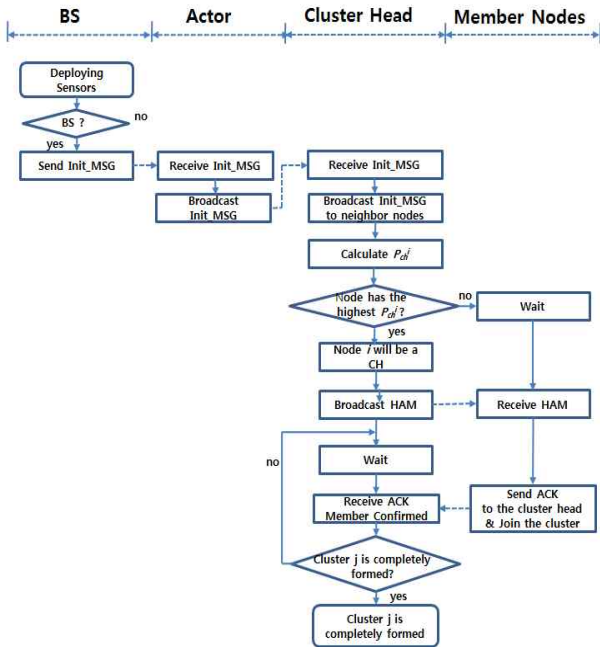


Fig. 3. Flowchart of Cluster Formation Phase

```

Input:
E - Energy of Sensor Node
dist - Distance to the Actor Node
PCH - Probability of a node to become a cluster head.
Output:
Optimized WSAW cluster with cluster head having maximum energy, nearest to actor node.
Process:
Initialize
BS send Init_MSG
Broadcast Init_MSG to other nodes
Compute ( PCHi = α * (Eresi / Emax) + (1 - α) * (1 - d(ni, ai) / dmax) )
CH = i
While (receive Init_MSG == TRUE)
  If dist( i, Actor Node) < (received dist)
    then
      CH = i;
    else
      Wait for Head_Advertize_MSG;
  End If
End While
If (CH = i)
  then
    broadcast Head_Advertize_MSG
    return CH
  else
    on receiving Head_Advertize_MSG
      Invoke select - closest CH( ) procedure
    end if
  return closest CH
    
```

Fig. 4. Pseudo-code of Cluster Formation Phase

### 3. 라우팅 경로 구성

초기 클러스터 헤드 선출과 클러스터 구성이 완료되면 클러스터는 하나의 액터 노드와 클러스터 헤드, 그리고 다수의 센서 노드들을 포함하게 된다. 클러스터 내의 멤버 노드들은 이벤트 정보를 수집하여 클러스터 헤드에게 전송하며 클러스터 헤드는 이를 액터나 BS로 전송하여야 한다. WSAW에서 자동 구조로 동작하는 경우에는 액터에게 수집된 데이터를 직접 전송하므로 BS로의 라우팅이 중요하지 않을 수도 있다. 그러나 반자동 구조로 동작하는 경우 센서 노드가 수집한 데이터는 반드시 BS로 전달되어야 하며 이를 위해 라우팅 경로를 미리 설정해 둘 필요가 있다. WSAW에서의 계층적 라우팅은 LEACH의 경우처럼 클러스터 헤드가 직접 BS로 데이터를 전송하는 방법이 있으며 이는 빠른 데이터 전송이 가능하나 BS에서 멀리 위치한 클러스터일수록 최대 전력으로 데이터를 전송해야 하므로 에너지의 낭비가 심하다. 이에 반하여 라우팅 트리를 구성하여 데이터를 전송하는 멀티 홉 방법을 사용하면 각 클러스터 헤드들은 데이터를 수집하여 다음 클러스터 헤드까지만 데이터를 전송하면 되므로 훨씬 작은 전력으로 데이터 전송이 가능하다. 반자동 구조와 멀티 홉 전송은 실시간 어플리케이션에서는 응답 시간이 늦어지게 된다. 그러나 실시간 어플리케이션은 그 특성상 자동 구조의 네트워크를 사용하는 것이 유리하므로 액터로의 빠른 데이터 전송만 고려하면 된다. 또한 멀티 홉 전송은 응답 시간보다 신뢰도가 중요한 어플리케이션 또는 센싱 필드가 큰 경우 등에서는 필수적으로 사용될 수밖에 없다.

제안 기법은 기존의 계층적 라우팅 알고리즘들과 같이 한 라운드만 종료되면 다시 클러스터링을 수행하도록 한다. 수집된 데이터는 TDMA로 클러스터 헤드로 전송되고 클러스터 헤드는 다시 이를 BS까지 포워딩한다. 클러스터 형성부터 BS로 데이터가 전송완료되는 시점까지를 라운드라 하며 이후 다시 클러스터 형성과정을 거쳐 데이터 수집과 전송을 반복한다. 클러스터의 재구성과 이에 따른 클러스터 헤드의 재선출은 비효율적으로 보일 수 있으나 때때로 변화하는 센서 노드의 배치와 센서 노드들의 균일한 에너지 소모를 유도하기 위해서 필요한 과정이다.

이러한 이유로 데이터와 커맨드에 대한 전송 경로도 라운드마다 다시 설정해 주어야한다. 이는 클러스터링 과정의 시간과 에너지 소모를 증가시키나 수집한 데이터의 전송과 커맨드 전송시에는 빠르게 동작할 수 있으므로 WSAW에서 플러딩이나 요구 기반 방식의 라우팅보다 효율적이다. 제안 기법은 액터를 중심으로 생성된 클러스터를 라운드마다 재구성하여 다음에 전송해야 할 노드들에 대한 정보를 유지한다. 경로는 라운드마다 재생성되며 이를 통해 고정형 노드나 이동형 노드 등 노드의 이동성에 관계없이 제안 기법을 사용할 수 있다.

제안 기법은 센서 네트워크 전체에 대한 대략적인 클러스터 토폴로지를 알 수 있으며 이를 활용하여 최단 경로 트리를 구성한다. 센서 네트워크에서 멤버 노드를 제외한 클러스터 헤드들만의 집합을  $V$ , 클러스터 헤드간의 연결에 대한 집합을  $E$ , 연결의 가중치(거리) 집합을  $w$ 라 하고 BS를 시작점이라 하면 전체 네

트위크는 그래프  $G=(V, E, w)$ 로 나타낼 수 있으며 최단 경로 트리는 Dijkstra의 최단 경로 알고리즘을 이용하여 구할 수 있다.

구해진 최단 경로 트리는 이후 수집된 데이터를 전송하는 경로로 사용된다. 이는 루트를 기점으로 다른 모든 클러스터 헤드들의 최단 경로를 가지고 있으며 경로 저장을 위해 각 클러스터 헤드는 자신의 상하위 노드에 대한 정보를 저장하고 있어야 한다. 이 정보는 클러스터 헤드에서만 필요하며 다음 라운드가 되면 필요 없게 된다. 라우팅 트리의 구성은 그림 5와 같다.

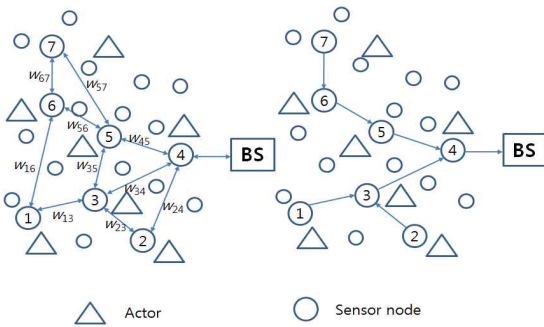


Fig. 5. Routing Tree Formation

그림 5에서 보는 바와 같이 클러스터 형성이 완료되면 왼쪽의 그림과 같은 단순 메쉬 네트워크의 형태를 가진다. 이 상태에서 요구 기반 방식의 라우팅 등을 사용하여 브로드캐스팅으로 BS까지 데이터를 전달할 수도 있으나 이는 에너지 소모면에서 비효율적이므로 상기에서 설명한 최단경로 트리를 구성하여 그림 5의 오른쪽과 같은 라우팅 경로를 구성한다. 라우팅 경로를 결정하고 수집된 데이터를 전송하는 것은 라우팅 경로 설정과 테이블 유지의 오버헤드가 있으나 전송 에너지의 감소와 전송의 효율성을 높일 수 있으므로 WSN에서는 더 유리하다. 또한 센서노드에 이동성이 있는 경우에도 클러스터링 시에 다시 라우팅 경로가 설정되므로 이를 이용하는 데에 문제가 없다.

라우팅 경로 설정 과정에 대한 의사 코드는 그림 6과 같다.

```

Input:
    w - distance from CHi to CHj
    G - network topology graph
Output:
    Shortest path tree
Process:
    For all network
        w=distance from CHi to CHj
        SPT = Invoke Dijkstra(G, w, s) procedure
    End For
    
```

Fig. 6. Pseudo-code of Shortest Path Tree

#### 4. 클러스터 헤드 재선출

반자동 구조에서 라우팅 트리의 형성이 완료되면 센서 노드에서 수집된 데이터는 일단 클러스터 헤드로 전달된다. 클러스터

헤드에서는 동일한 이벤트에 대한 정보를 병합하여 이를 상기의 과정을 거쳐 생성된 라우팅 경로를 통해 전달한다. 이 경로는 클러스터 헤드들을 연결하여 BS까지 전송되는 경로이므로 작은 전송 에너지를 소모하면서 데이터를 전달하는 것이 가능하다.

반대로 인터넷 상의 서버나 사용자의 판단을 통해 BS에서 액터로 전송되는 데이터도 역시 같은 경로를 거친다. 제안 기법의 라우팅에서 사용되는 가중치는 클러스터 헤드간의 거리로써 방향이나 하향의 거리는 모두 동일하다. 따라서 동일한 경로를 역방향에서도 사용할 수 있으며 이를 통해 원하는 액터에게 서비스 실행에 대한 제어를 수행할 수 있다.

제안 기법에서 클러스터 헤드는 노드들의 균일한 에너지 소모를 위해 라운드마다 변경된다. 수집한 데이터를 전달하는 TDMA 전송이 종료되면 한 라운드가 완료되고 BS는 다시 클러스터링을 수행하기 위해 lint\_MSG를 전송한다. 여기에서는 다시 앞에서 설명한 클러스터 구성과 라우팅 경로 구성 과정을 거쳐 클러스터를 완성한다. 이때 센서 노드들 중 노드의 에너지 잔량과 액터와의 거리를 이용한 확률식을 통해 다시 가장 확률값이 높은 노드가 클러스터 헤드로 선출된다. 새롭게 선출된 클러스터 헤드는 자신이 클러스터 헤드가 되었음을 클러스터 내의 다른 노드들에게 Head\_Advertise\_MSG를 통해 다시 알려야 하며 노드들은 클러스터 가입과정을 거친다.

## IV. Experiment and Result Analysis

### 1. 실험 환경

실험을 위한 가정은 다음과 같다. 먼저 무선 센서 네트워크에서 매체는 무선이며, MAC 프로토콜은 802.15.4, 트래픽 발생은 CBR(Constant Bit Rate)로 가정하였다. 센싱 필드는 100m×100m로 이 영역내에 100개의 센서 노드들을 분포시키고, 각각의 노드들은 0.5J의 초기 에너지를 보유한다고 가정하였다. 노드는 그림 7과 같이 센싱 영역내에 균등하게 배치하고 액터는 적절한 거리를 유지하도록 임의의 배치하였다.

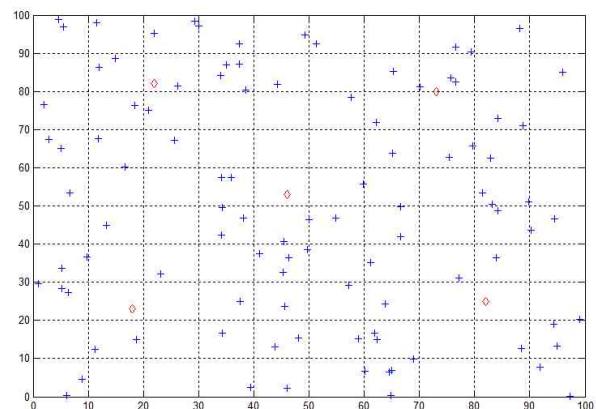


Fig. 7. Deployment of Sensor Nodes (100m×100m, Node=100, Actor=5)

그림 7에서 ‘+’는 센서 노드를, ‘◇’는 액터 노드를 나타낸다. 또한 클러스터의 수  $k$ 는 전체 노드  $N=100$ 을 기준으로 하여 LEACH[1]의 최적  $k$ 값인 5로 가정하였으며 액터의 수도 5개로 가정하였다.

실험을 위해 사용된 파라미터들은 [1]에서 정의한 무선 모델에 따라 설정하였다.

## 2. 결과 및 분석

제안한 계층적 라우팅 알고리즘은 NS-2와 Matlab R2012b를 이용하여 자동 구조와 반자동 구조에서 노드와 네트워크의 수명, 액터로의 데이터 전달 시간, 에너지 소모의 공평성, BS로의 데이터 전달을 등을 알아보았다. 제안 기법의 효율성을 확인하기 위하여 기존의 WSN을 위한 VDSPT를 제안 기법과 비교하였다.

### 2.1 노드와 네트워크의 수명

노드와 네트워크의 수명은 센서 디바이스와 전체 네트워크가 얼마나 오랜기간 동안 자신의 임무를 수행할 수 있는가를 나타내는 척도로서 제한된 자원을 가지고 동작하는 WSN 기반 사물 인터넷에서는 매우 중요한 요소이다. WSN에서는 수많은 노드를 사용하지만 모든 노드들은 자신의 영역을 모니터링 하며 이벤트 정보를 수집해야 하므로 하나의 노드가 수명이 다해 사용할 수 없게 되면 그 영역의 이벤트는 감지할 수 없고 전체 네트워크의 신뢰성에 문제를 야기하게 된다. 따라서 네트워크의 수명은 첫 번째 노드가 수명이 다하는 시점으로 보는 것이 일반적인 정의이다.

다음의 그림 8, 9는 자동 구조와 반자동 구조에서 이벤트 발생률을 높여가면서 노드의 평균 수명을 나타낸 것이다. 이벤트 발생률은 10~50% 까지 증가시켰으며 동일한 실험을 10회 반복하여 평균값을 표시한 것이다.

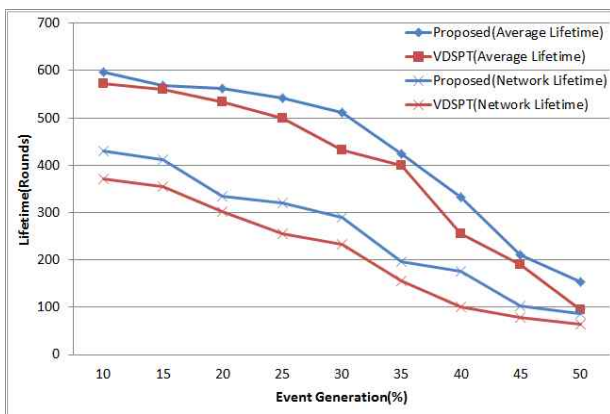


Fig. 8. Average Node Lifetime and Network Lifetime (Automated)

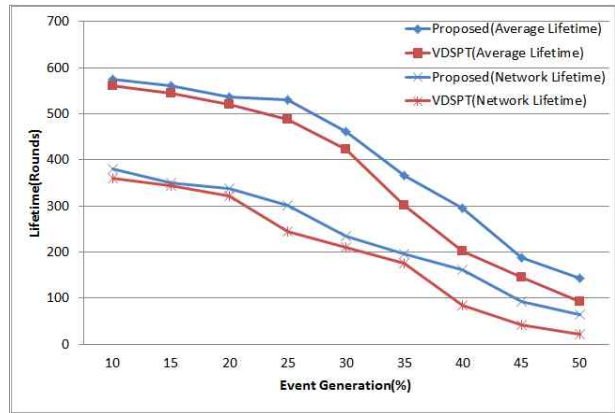


Fig. 9. Average Node Lifetime and Network Lifetime (Semi-automated)

자동 구조나 반자동 구조 모두 이벤트 발생률이 높아지면 센서들의 이벤트 수집과 데이터 전송을 위한 에너지 소모가 많아지게 되고 이에 반해 노드의 수명은 감소하게 된다. 또한 반자동 구조가 자동 구조에 비해 BS로의 데이터 전달과 BS로 부터의 커맨드 전달이 있으므로 에너지 소모가 더 큰 편이다. 따라서 반자동 구조의 네트워크가 자동 구조의 네트워크에 비해 약간 더 작은 노드 평균 수명을 보이고 있다.

VDSPT의 경우 노드의 평균 수명은 전반적으로 제안 기법에 비해 낮은 편이다. 이는 VDSPT가 멀티 홉 전송으로 액터에게 수집한 데이터를 전달하도록 하나 액터간의 거리가 클러스터 영역의 크기에 비례하므로 액터의 위치에 따른 노드의 에너지 소모 편차가 매우 크다. 본 논문의 실험 환경에서는 액터가 균일하게 배치되어 있다고 가정하여 제안 기법에 비해 약간 낮은 성능을 보이고 있으나 액터의 배치가 균일하지 않은 경우, 넓은 영역을 가지는 클러스터내의 노드들은 더 많은 에너지를 소모하게 되어 더 큰 차이를 보일 것이다.

네트워크 수명의 경우 첫 번째 노드가 수명이 다하는 시점으로 정의하였으며 그림 8, 9에서 볼 수 있듯이 제안 알고리즘이나 VDSPT 모두 평균 노드 수명에 비해 짧다. 또한 이벤트 발생률이 증가함에 따라 노드의 에너지 소모도 증가하게 되며 네트워크 수명은 감소하는 경향을 보이게 된다.

다음으로는 액터의 에너지 소모를 살펴보았다. 다음의 그림 10은 VDSPT와 제안기법에서 사용된 5개 액터의 에너지 소모를 나타낸 것이며 액터의 통신을 위한 초기 에너지는 3J이며 500라운드의 데이터 전송을 수행한 것으로 가정하였다. 여기서 액터의 에너지 소모는 통신에 필요한 에너지 소모만을 나타낸 것이며 액션에 필요한 에너지는 고려하지 않았다. 액터는 센서 노드에 비해 충분한 에너지를 가지고 있으며 액션에 필요한 에너지에 비해 통신에 필요한 에너지는 상대적으로 작다. 그러나 배터리로 동작하거나 이동성이 있는 액터의 경우 에너지 소모를 줄이는 것은 중요하다.

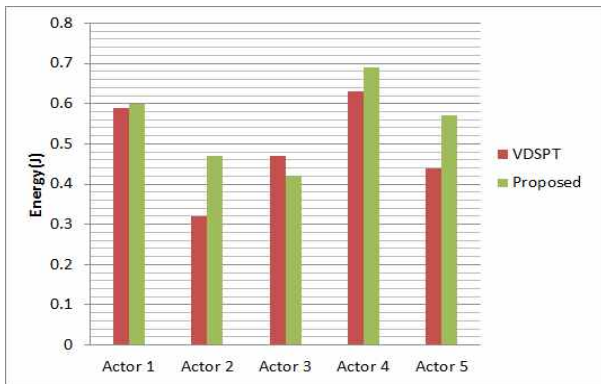


Fig. 10. Average Lifetime of Actors

그림 10에서 볼 수 있듯이 일부 액터는 비슷한 에너지 소모를 보였으나 대체적으로 제안 기법에서 액터의 에너지 잔량이 높은 것을 알 수 있다. 이는 액터로 데이터를 전송하는 것은 두 가지 기법이 모두 같으나 VDSPT는 액터가 반드시 BS로의 데이터 전송에 포함된다. 제안 기법은 BS로의 전송에서 액터 외에 센서 노드인 클러스터 헤드를 이용할 수도 있도록 하였기 때문에 VDSPT에 비하여 액터의 에너지 소모가 작다. 네트워크 상의 위치에 따라 클러스터 헤드를 데이터 전송에 효율적으로 사용함으로써 액터의 에너지 소모도 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

### 2.2 액터로의 데이터 전송 시간

실시간 어플리케이션을 위한 자동 구조의 WSN에서는 액터로의 데이터 전송시간이 짧아야 한다. 여기서는 네트워크에 주기적 데이터와 이벤트 데이터가 공존하는 상황에서 이벤트 데이터의 전송 시간을 알아보았다.

그림 11은 이벤트 발생율을 10~50%로 높여가면서 데이터 패킷의 전송지연을 측정 한 것이다. 지연 시간은 센서 노드와 네트워크의 사양에 따라 크게 영향을 받지만 큐잉지연을 제외한 나머지 1홉 전송 시간은 [9]를 참조하여 10ms로 가정하고 실험을 진행하였다.

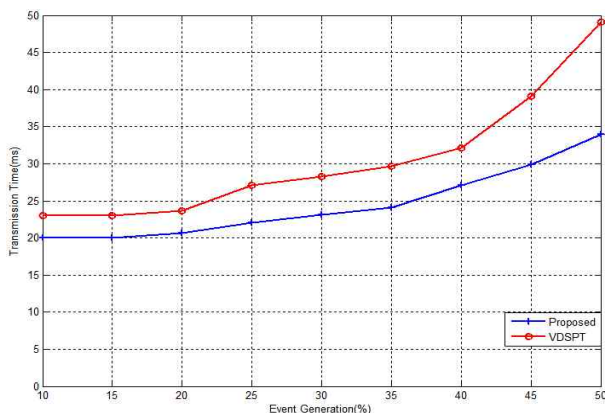


Fig. 11. Required Time for Data Transmission to Actor(Automated)

그림 11에서 볼 수 있듯이 이벤트 발생율이 증가함에 따라 전 구간에서 제안 알고리즘의 데이터 전송시간이 빠름을 알 수 있다. 제안 알고리즘은 센서 노드가 이벤트 정보를 수집하면 클러스터 헤드를 통해 액터에게 전달하도록 한다. 따라서 현재 큐에 전송 대기중인 패킷이 없다면 클러스터 헤드를 경유하여 액터로 2홉이면 바로 전송이 가능하다. 이벤트 발생율이 15% 이하인 경우에는 대기 시간 없이 바로 이벤트 데이터를 전송할 수 있었으나 이벤트 발생율이 증가함에 따라 트래픽도 증가하게 되고 노드의 큐에서 대기시간이 길어지게 되어 약간씩의 지연이 발생하게 된다. 지연은 이벤트 발생율에 비례하여 증가하게 되어 이벤트 발생율이 50%가 되면 초기에 비해 약 66% 증가된 지연 시간을 보이게 된다.

VDSPT의 경우 클러스터 내에서의 전송에서도 멀티홉 방법을 사용한다. 따라서 제안 기법에 비해 전송에 필요한 평균 홉 수가 많으며 이는 클러스터마다 다르다. 액터로의 전송시간은 제안 알고리즘과 마찬가지로 이벤트 발생율이 높아지면 증가하게 되며 50%의 이벤트 발생율에서는 초기에 비해 100% 이상의 지연이 발생하게 된다.

제안 알고리즘이 TDMA 시간에서 VDSPT에 비해 손해를 보지만 전체 전송 시간은 전반적으로 짧으며 실시간 어플리케이션에서 유리함을 알 수 있다.

### 2.3 공평성

공평성은 센서 노드들이 얼마나 균일하게 에너지를 소모하고 있는가를 나타내며 이는 네트워크 수명과 연관이 있다. 노드의 평균 생존시간이 같다고 하여도 노드의 에너지 소모가 불균일하여 특정 노드들의 수명이 짧아진다면 이 특정 영역은 더 이상 이벤트 감지를 수행할 수 없고 WSN 기반 사물인터넷의 핵심 기능 중 하나인 모니터링 역할을 더 이상 수행할 수 없게 된다. 예를 들어 침입감지 시스템에서 99%의 영역은 모니터링이 가능하나 1%의 영역이 센서 노드의 수명이 다하여 센싱이 불가능하다면 이 침입감지 시스템의 신뢰도는 낮아지게 될 것이다.

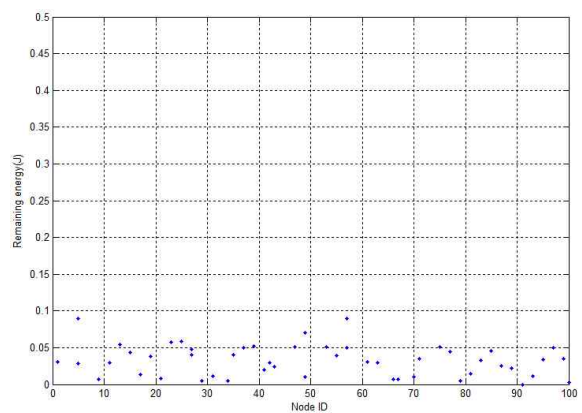


Fig. 12. Residual Energy of Sensor Nodes after 600 Rounds(Proposed Scheme)

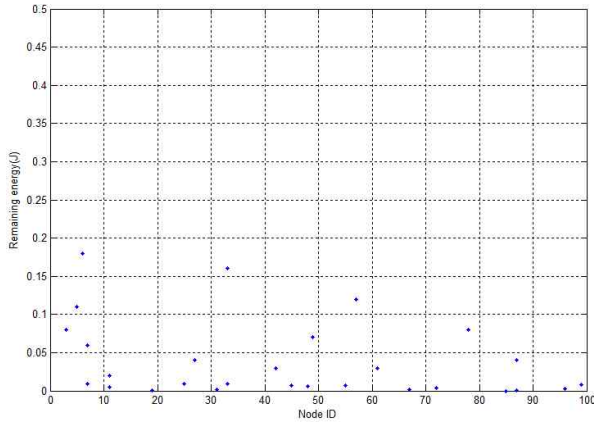


Fig. 13. Residual Energy of Sensor Nodes after 600 Rounds(VDSPT)

따라서 각각의 센서 노드 수명을 연장하는 것도 중요하지만 개별 노드들이 거의 동일하게 에너지를 소모하도록 하는 것도 중요하며 이는 공평성 분석을 통해 알아볼 수 있다. 먼저 그림 12와 13은 반자동 구조의 네트워크에서 제안기법과 VDSPT에 대하여 600라운드 후에 각 센서 노드들의 에너지 잔량을 그래프로 표시한 것이다. 사용한 실험 환경에서 처음 0.5J의 에너지를 가지고 동작을 시작했던 센서 노드들은 600 라운드가 넘어서면 에너지 수준이 매우 낮아지며 각 노드간 에너지 잔량에 많은 편차를 보이게 된다.

그림 12에서 보는 바와 같이 전반적으로 생존 노드의 수는 제안기법이 많으며 대부분 0~0.1J의 에너지 잔량을 가지고 있다. 이에 반해 그림 13의 VDSPT는 이미 수명이 다한 노드들이 많이 있으며 수명이 남은 노드들은 0~0.18J까지의 에너지 잔량을 가지고 있다. 공평성은 노드의 수명과 관계없이 노드들의 균일한 에너지 소모를 나타내는 척도로서 제안 기법과 같이 노드들간의 편차가 작은 것이 공평성이 높다.

이를 좀 더 자세히 알아보기 위하여 제안기법과 VDSPT에 대해 50라운드마다 노드들의 에너지 잔량을 측정하여 공평성 지수를 구하였다. 네트워크 배치 초기에는 모든 노드들의 잔여 에너지가 균일하게 높으므로 공평성은 1에 가까운 값을 가진다. 그러나 시간이 지남에 따라 센서 노드는 이벤트의 감지 및 전달, 클러스터 헤드로서 데이터 포워딩 등을 수행하며 서로 다르게 에너지를 소비하게 된다. 따라서 공평성 지수는 감소하게 되며 그림 14는 이러한 상황을 보여주고 있다.

그림에서 볼 수 있듯이 센서 노드가 배치된 초기에는 모든 센서 노드들이 균일하게 0.5J의 에너지를 가지고 있으므로 공평성 지수는 1이다. 그러나 200라운드가 지나면서 제안 알고리즘과 VDSPT 모두 공평성 지수가 0.9 이하로 감소하게 되며 시간이 지날 수록 더 급격하게 감소하는 것을 알 수 있다. 제안 알고리즘은 600 라운드가 되면 공평성 지수는 0.41까지 감소하며 VDSPT는 0.12로 감소한다. 이 상태는 노드들의 에너지 상태가 매우 불균형하다고 볼 수 있으며 이미 수명이 다한 노드들이 다수 존재하는 시점이다.

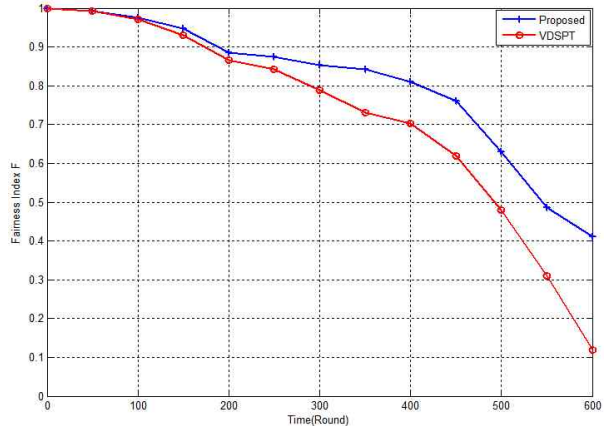


Fig. 14. Changes of Fairness Index according to Time (Semi-automated)

### 2.3 BS로의 데이터 전달율

다음은 센서 노드에서 수집한 데이터가 얼마나 BS로 전달 되었는가를 나타내는 BS로의 데이터 전달율을 살펴보았다. 반자동 구조의 경우 감지한 이벤트 데이터를 BS로 성공적으로 전송하여야 인터넷 상에서 처리를 거친 제어 명령을 액터에게 전송할 수 있다. 제안 알고리즘은 계층적 라우팅 기법이므로 클러스터 헤드에서 중복 이벤트에 대한 데이터를 병합하여 BS로 전송한다. 네트워크 수명이 다한 경우 데이터 전달율은 점차 감소할 것이며 이를 높이기 위해서는 모든 센서 노드들이 균일하게 오랜 기간 생존하도록 하여야 한다. 제안 알고리즘은 이를 위해 에너지 잔량에 따라 클러스터 헤드를 선정하고 멀티 홉 전송을 이용하여 센서 노드들이 지속적으로 이벤트 정보를 수집하고 이를 BS로 성공적으로 전송할 수 있도록 하였다.

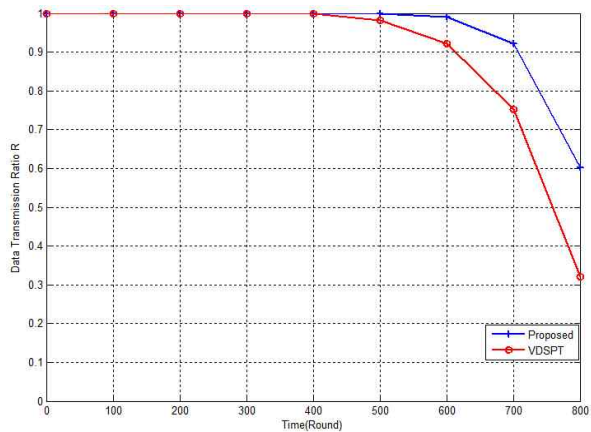


Fig. 15. Ratio of Successful Data Transmission to BS (Semi-automated)

그림 15는 반자동 구조에서 BS로의 데이터 전달율을 보인 것으로 400 라운드까지는 모두 전달율이 1로써 수집된 이벤트 데이터가 모두 BS로 전달되고 있음을 알 수 있다. VDSPT는 이후 전달율이 감소하기 시작하며 제안 알고리즘도



500 라운드가 넘어서면서 전달율이 1 이하로 감소하기 시작한다. 이는 센서 노드에서 수집한 정보가 BS로 전달되지 않을 수 있음을 의미하며 서비스의 신뢰성에 큰 영향을 미칠 수 있다.

## V. Conclusion

최근 많은 관심을 받고 있는 사물 인터넷은 단순히 사물에 컴퓨팅과 통신 능력만을 부여한다고 구현할 수 있는 것이 아니며 기존의 센서 네트워크인 WSN이나 WSN을 기반으로 서비스를 제공한다. 이를 위해 본 논문에서는 WSN 기반 사물 인터넷의 효율적인 동작을 위해 개선된 계층적 라우팅 알고리즘을 제안하였다. 이는 WSN과 달리 액터가 추가된 WSN에서 센서 노드의 에너지를 균일하면서도 효율적으로 사용할 수 있는 방법을 제시하였다.

제안한 라우팅 알고리즘은 센서 노드의 현재 에너지 잔량과 액터와의 거리를 기준으로 하여 클러스터 헤드를 선출하고 이를 중심으로 클러스터를 구성한다. 노드의 에너지 잔량을 고려함으로써 에너지 소모가 많은 노드는 가능하면 클러스터 헤드의 역할을 수행하지 않도록 하며 에너지 잔량이 높은 노드가 이러한 역할을 대신하도록 하여 전체 센서 노드의 균일한 에너지 소모를 유도한다. 또한 액터와의 통신이 빈번한 환경에서는 액터와 클러스터 헤드의 거리에 따라 송신 전력이 달라지므로 이를 감소시키기 위해서 둘 사이의 거리를 고려하도록 하였다. 이러한 두 가지 기준은 어플리케이션의 특성에 따라 가중치로서 조절할 수 있도록 하였다.

또한 자동 및 반자동 구조의 WSN 네트워크를 위한 라우팅 알고리즘을 제시하였다. 이는 클러스터 헤드간의 거리에 기반하여 최단경로 트리를 구성하여 이용하도록 한다. 경유 노드는 클러스터 헤드나 액터 노드가 될 수 있으며 미리 설정된 경로를 통해 경로 계산에 대한 부담 없이 최소의 비용으로 데이터를 BS까지 전달하고 반대로 BS에서 클러스터 헤드로 데이터를 전달할 수 있다.

제안한 라우팅 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 노드 및 네트워크의 수명, 액터로의 데이터 전송 시간, 공평성, BS로의 데이터 전달율 등을 시뮬레이션을 통해 알아보았다. 노드와 네트워크의 수명, 그리고 공평성은 자동 구조나 반자동 구조 모두 기존의 VDSPT에 비해 제안 알고리즘이 더 높은 결과를 보였다. 이는 제안 알고리즘이 노드의 에너지를 균일하게 사용함으로써 노드와 네트워크의 수명을 증대시킬 수 있기 때문이다. 또한 액터로의 데이터 전송시간도 트래픽의 증가에 관계없이 VDSPT에 비해 10% 이상 감소한 결과를 보였다. BS로의 데이터 전달율은 네트워크 구성 초기에는 같은 결과를 보이나 400라운드를 넘어서면서 제안 기법이 좋은 성능을 보이며 시간에 따라 차이는 더 증가함을 보였다. 이를 통해 제안 기법이 노드의 에너지 소비 효율성을 높이면서 네트워크의 신뢰성도 함께 증대시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

## REFERENCES

- [1] W. B. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," Proceedings of the Hawaii International Conference on System Science, pp.1-10, 2000.
- [2] Dai, Z., Wang, B., Li, Z., & Yin, A., "VDSPT: A sensor-actor coordination protocol for wireless sensor and actor network based on voronoi diagram and shortest path tree". In Computer Network and Multimedia Technology, International Symposium on IEEE CNMT 2009, pp. 1-4, 2009.
- [3] Cañete, E., Diaz, M., Llopis, L., & Rubio, B., "HERO: A Hierarchical, efficient and reliable routing protocol for wireless sensor and actor networks". Computer Communications, 35(11), pp. 1392-1409, 2012.
- [4] Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., & Chlamtac, I., "Internet of things: Vision, applications and research challenges," Ad Hoc Networks, 10(7), 1497-1516, 2012.
- [5] Gungor, V. C., Akan, O. B., & Akyildiz, I. F., "A Real-Time and Reliable Transport (RT) protocol for wireless sensor and actor networks," Networking, IEEE/ACM Transactions on, 16(2), 359-370, 2008.
- [6] Sun, Q. B., Liu, J., Li, S., FAN, C. X., and Sun, J. J., "Internet of Things: Summarize on Concepts, Architecture and Key Technology Problem," Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 3(3), 1-9, 2010
- [7] Feng Xi, "QoS Challenges and Opportunities in Wireless Sensor/Actuator Networks", Sensors, 8, pp. 1099-1110, 2008.
- [8] Nobles, P., Ali, S., & Chivers, H., "Improved estimation of trilateration distances for indoor wireless intrusion detection," Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications, 2(1), 93-102, 2011.
- [9] Bu, Z., Wang, B., & Shi, Z., "Delay Measurement in Sensor Networks Using Passive Air Monitoring". UCONN CSE Technical Report BECAT/CSE -TR-07-07, 2007.

### Authors



Ji-Yong Cho received Ph.D. degrees in Computer Engineering from Chungbuk National University, Korea, in 2014

Dr. Cho is currently a President of the Dino ICT Co. Ltd., and he is interested

in wireless sensor network and the Internet of things.



Seung-Kwon Choi received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Computer Engineering from Chungbuk National University, Korea, in 1995, 1997 and 2001, respectively

Dr. Choi is currently a lecturer in Department of Computer Education, Cheongju, Korea, in 2007. He is interested in USN, distributed systems and game planning.



Yong-Hwan Cho received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Statistics from Korea University, Korea.

Dr. Cho is currently a Professor in the Department of Computer Engineering,

Chungbuk National University. He is interested in Entertainment technology, USN, Multimedia communication and ICT policy.