

무선 센서 네트워크의 다중 센서에 대한 에너지 효율적인 클러스터링 기법

최동민[†], 정일용^{††}

Energy Efficient Clustering Scheme for Multi-sensor on Wireless Sensor Networks

Dongmin Choi[†], Ilyong Chung^{††}

ABSTRACT

Recent application range of sensor networks is becoming diverse. It means collected sensor data types are becoming diverse too. These sensor data have their own characteristics. Thus achieving energy efficiency, existing sensor network management policy consider their own characteristics. However, it is inefficient to apply the existing network management schemes for controlling such kind of data at the same time. Because, existing network management schemes considered one type of data only. Therefore, we propose a novel routing scheme that is able to efficient energy conservation through effective data controlling on multi-sensor application environment.

Key words: Sensor Network, Clustering, Multi-sensor

1. 서 론

센서 네트워크는 응용환경에서 수집 하는 데이터를 전송하기 위한 목적을 갖고 있다. 이러한 센서 네트워크의 성능 평가를 위해 기존 방법들은 여러 가지 환경을 가정하고 실험을 진행하였다. 그러나 최근의 연구[1-4]에 의하면, 이 요소들은 네트워크 성능 평가에 충분히 영향력을 미칠 수 있다. 이 요소들 중 특히, 센서 데이터 패턴은 센서 네트워크에 충분한 영향을 미칠 수 있음이 확인되었다. 따라서 클러스터링 기법은 반드시 센서 데이터의 패턴, 즉 특성을 고려해야 한다. 따라서 만약 수집하고자 하는 데이터가 한 가지 종류가 아닐 경우, 다시 말해 다양한 종류의 데이터일 경우 기존의 단일 센서 데이터 수집에 최적

화되어 있는 클러스터링 기법은 에너지 효율적인 전송이 불가능하게 되므로 다종의 데이터 수집이 고려된 클러스터링 기법이 필요하다. 최근의 센서 네트워크 응용분야는 높은 수준의 상황정보추론을 위해 다종의 센서를 사용한 센서 네트워크를 구성하고 이를 통한 데이터 융합[3,4]을 하는 연구가 진행되는 등 점점 다양해지고 있으므로 다종의 센서 데이터 수집에 대한 필요성이 높아지고 있다. 그러나 센서 데이터들을 수집하는 장소가 동일할 경우, 각각의 센서 데이터를 수집하기 위해 동일한 장소에 여러 개의 서로 다른 데이터를 수집하는 목적을 갖는 센서 네트워크를 구축해야 한다면 네트워크 운용 면에서나 경제적인 면에서 매우 비효율적이다. 이 경우 다중 센서 데이터를 수집 가능한 하나의 네트워크를 구성하

* Corresponding Author : Ilyong Chung, Address: (501-759) Chosun Univ., Seoseok-dong, Dong-gu, Gwangju, Korea, TEL : +82-62-230-7712, FAX : +82-53-230-7754, E-mail : iyc@chosun.ac.kr
Receipt date : Nov 9, 2015, Revision date : Nov 26, 2015
Approval date : Nov 30, 2015

[†] Div. of Undeclared Majors, Chosun University
(E-mail : jdmcc@chosun.ac.kr)

^{††} Dept. of Computer Eng., Chosun University

* This study was supported by research fund from Chosun University, 2015

여 운용하는 것이 보다 효율적인 방법이며, 이를 위해 하나의 센서 네트워크에서 다양한 센서를 사용하는 노드를 활용한 네트워크를 구축하고 운용하는 방법이 필요하다. 이에 본 연구는 이러한 다중 센서 데이터를 고려하는 클러스터링 기법을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 기존 클러스터링 기법의 문제점 및 센서 데이터 패턴 및 센서 수량에 대한 네트워크 성능 변화에 대해 고찰한다. 제 3장에서는 다중 센서에서 발견되는 문제들에 대해 고찰한다. 제 4장에서는 제안하는 기법의 기본 환경과 동작 알고리즘에 대해 기술한다. 제 5장에서는 제안하는 기법의 성능을 기존의 기법들과 비교하여 평가하며, 마지막으로 6장에서는 본 연구의 결론 및 향후 연구 과제에 대해 논의한다.

2. 관련연구

기존 기법은 단일 타입 센서 네트워크를 기반으로 한 기법[5]이며, 수집 데이터의 특성을 고려[6-10]한 경우 더 좋은 성능을 보여주었다. 그러나 이 기법들은 데이터에 변동이 있을 경우 성능에 영향을 받으며 그 종류는 다음과 같이 구분 할 수 있다.

2.1 센서 데이터 패턴

클러스터링 기법은 그 특성상 데이터 패턴의 차이에 의해 네트워크 성능이 영향을 받을 수 있다. 기존 연구[1-2]는 이러한 데이터 패턴을 크게 (a) 주기적 변화 데이터, (b) 목표 추적시 데이터, (c) 기온 측정시 데이터, (d) 무작위 데이터 (e) 화재정보와 같은

장기간 값이 없는 데이터로 나누어 평가하였으며 그 결과 이 요소가 네트워크 성능에 영향을 주는 것으로 나타났다.

2.2 클러스터링 방식

몇 가지 클러스터링 기법[9-10]은 다음의 Fig. 1과 같이 초기 클러스터링부터 센서 데이터 값을 기준으로 클러스터를 구성하였다.

이는 클러스터 구역의 센서 데이터가 상호 인접하는 지역일 경우 발생하는 값이 유사한 것에 착안한 것이다. 그러나 다중 센서일 경우, 센서의 특성이 서로 상이하여 클러스터 구성에 기준이 되는 데이터 값 결정에 문제가 있다.

2.3 다중 센서

응용환경이 다양하면 다종의 센서가 사용될 수 있다. 한 개의 센서노드에 acoustic, vibration, behavior information[10-17] 등의 정보를 동시에 수집할 경우 네트워크 운용에 걸리는 부하는 증가하고 네트워크 수명은 단축될 것이다. 기존 연구[2]에서는 기존의 센서 네트워크와 다중 센서 네트워크의 운용시간을 다음의 Fig. 2와 같이 비교하였다.

그 결과, 센서의 수량에 비례해 자원고갈이 증가하며 다중 센서의 사용은 네트워크 운용에 큰 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.

2.4 응용의 수

기존 연구[3-4]에서는 다수의 응용이 요구하는 단일 타입 센서 데이터를 효과적으로 전송하는 방법을

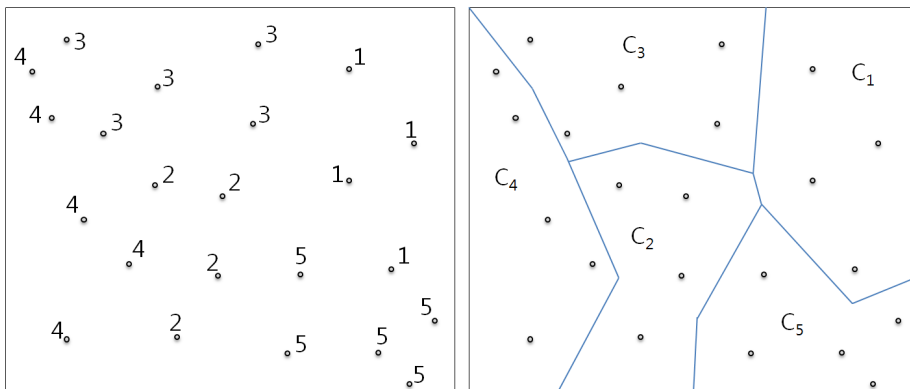


Fig. 1. Example of sensor value-based data centric clustering scheme.

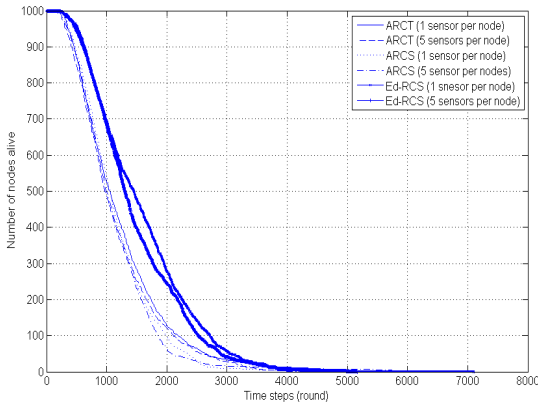


Fig. 2. Network lifetime comparison.

제안하였다. 이 방법은 Fig. 3과 같이 각 응용(T)이 요구하는 시점이 겹치는 구간에 해당하는 데이터를 샘플링(s)하여 전송하여 자원을 효율적으로 관리한다.

그러나 위의 연구와 달리 다중 센서 데이터는 특성이 서로 다르므로 응용의 요구도 다르다. 따라서 이를 고려한 데이터 최적화 및 처리 알고리즘이 요구된다.

3. 다중 센서 고려사항

기존 연구[6-10]에서는 센서 데이터의 특성을 이용하는 알고리즘을 제안하였다. 그러나 단일 센서를

고려하였으므로 다중 센서를 이용한 클러스터링에 적합하지 않다. 왜냐하면 기존의 방법에서 다중 센서를 사용할 경우 다음과 같은 몇 가지 고려해야 할 요소가 있기 때문이다.

3.1 데이터 빈도

데이터 빈도는 센서 필드에서 발생하는 데이터의 출현빈도와 발생여부와는 별개로 응용에서 요구하는 데이터 수집빈도의 두 가지가 있다. 데이터 출현빈도는 센서 필드에서 발생하는 데이터의 발생 빈도이다. 데이터 수집빈도는 수집되는 데이터를 응용의 요구에 맞게 재처리 한 것으로 데이터 출현빈도 즉 raw 데이터와 차이가 있는, 알고리즘에 의해 재 가공된 데이터이다.

데이터 수집 요구 빈도($D_{r,f}$)는 데이터 발생 빈도($D_{i,f}$)와 같거나 낮다. 따라서 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$0 < D_{i,f} \leq 1, 1 = \text{continuous}$$

$$0 < D_{r,f} \leq D_{i,f}$$

이 식에 의하면 $D_{r,f}$ 가 $D_{i,f}$ 에 근접할수록 에너지 소비량은 증가하나 응용은 더욱 정밀한 데이터를 얻을 수 있다.

3.2 데이터 길이

데이터 길이는 센서 필드에서 출현하는 원시 데이

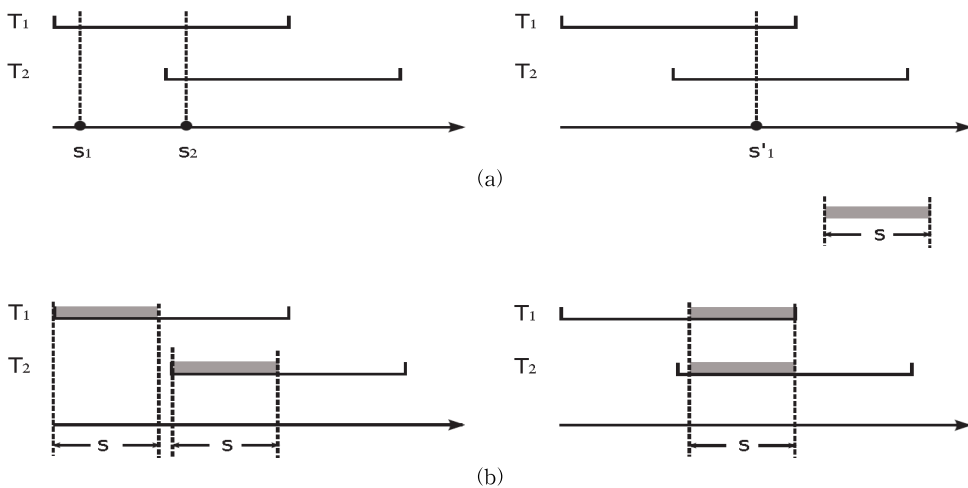


Fig. 3. Application requirement & sampling optimization comparison (a) at a time point sampling optimization, (b) continuous interval sampling optimization.

터의 길이와 수집된 데이터를 알고리즘에 의해 처리한 후의 데이터 길이로 구분된다. 따라서 처리된 데이터 (D_{pd})는 수집된 원시 데이터(D_{ard})와 같거나 적으며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$0 < D_{ard} \leq 1, 1 = \text{maximum data length}$$

$$0 < D_{pd} \leq D_{ard}$$

이 식에 의하면 D_{pd} 가 0에 근접할수록 에너지 소비는 감소하고 데이터 정확도는 낮아지며 D_{pd} 가 D_{ard} 에 근접할수록 에너지 소비는 증가하고 데이터 정확도는 높아진다.

3.3 데이터 정밀도

데이터 정밀도는 센서 필드에서 출현한 원시 데이터 값의 분포에 대한 출현 데이터 값 정밀도와 응용에서 요구하는 수준의 응용 요구 정밀도로 구분된다. 따라서 응용의 요구 정밀도 (D_{crd})는 출현 원시 데이터 값 정밀도 (D_{rdd})와 같거나 적으며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$0 < D_{rdd} \leq 1, 1 = \text{maximum density}$$

$$0 < D_{crd} \leq D_{rdd}$$

이 식에 의하면 D_{crd} 가 0에 근접할수록 에너지 소비는 감소하고 데이터 정확도는 낮아지며 D_{crd} 가 D_{rdd} 에 근접할수록 에너지 소비는 증가하고 데이터 정확도는 높아진다.

3.4 데이터 긴급성

긴급 데이터(D_{emg})를 수집한 클러스터는 데이터를 가공할 것인지, 즉각 전송할 것인지 결정하며 이는 $0 \leq D_{emg} \leq 1$ 으로 표현된다.

식에 의하면 D_{emg} 가 0에 근접할수록 에너지 소비는 감소하고 네트워크 수명은 증가하며, D_{emg} 가 1에 근접할수록 에너지 소비는 증가하고 네트워크 수명은 감소한다.

따라서 다중 센서 네트워크 환경에서 클러스터링 알고리즘은 위의 요소들을 고려해야 한다. 이에 우리는 다음과 같은 클러스터링 기법을 제안한다.

4. 4-factors considered algorithm

제안하는 방법은 기존의 단일 센서 기반 클러스터

링 기법에 대해 다중 센서를 고려할 경우 발생하게 되는 문제점을 고려한 다중 센서 기반 클러스터링 기법이며 클러스터 생성 및 클러스터 멤버 노드와 헤더 사이의 데이터 전송, 그리고 클러스터 헤더와 싱크 노드 사이의 데이터 전송에 다중 센서의 데이터 특성을 고려한 알고리즘 설계를 적용하였다.

4.1 동작과정

제안하는 방법은 초기 셋업 단계에서 다중 센서의 데이터 수집을 고려하여 클러스터를 구성하며, 각 센서 값의 비교를 통해 주 전송과 긴급 전송으로 나누어 데이터를 처리 후 전송하거나 즉시 전송하는 구조를 갖는다. 여기에는 각 센서별로 데이터 빈도에 대한 두 요소인 D_{if} 와 D_{rf} , 데이터 길이에 대한 두 요소인 D_{ard} 와 D_{pd} , 데이터 값 정밀도에 대한 두 요소인 D_{rdd} 와 D_{crd} , 데이터 긴급성에 대한 요소인 D_{emg} 가 클러스터 구성의 요소로서 고려된다.

4.1 initial 셋업

4.1.1 클러스터 헤더 선정

먼저, 응용에서 요구하는 수준의 데이터 수집 정밀도를 위해 센서 필드 전체 면적 대비 클러스터 개수를 구해야 한다. 기존의 연구[18]에서는 노드 개수 대비 약 5% 정도의 노드가 이상적으로 보고되었으나 기존 연구는 노드의 전송범위가 네트워크 전체를 포함하고 취급하는 데이터도 한 가지 종류의 센서 데이터였으므로 클러스터 헤더 선정에 적합하지 않다. 이에 우리는 다중의 센서 즉 다수의 응용이 요구하는 수준의 정밀도 구현을 위해 각 응용별로 요구하는 데이터 값 정밀도에 대한 두 요소인 D_{rdd} 와 D_{crd} 두 값을 고려하여 클러스터 헤더의 수 k 를 결정하였다. 데이터 값 정밀도는 센서 별로 요구하는 값이 다르므로 각 응용에서 요구하는 값의 최대값 또는 최소값을 반영하도록 하였다. 최대값을 반영할 경우, 응용이 요구하는 최대 정밀도와 동일한 수준으로 네트워크 데이터 수집 정밀도가 유지되며 멤버노드의 구성이 필요 없으나 클러스터 헤더의 에너지 소비가 급증하게 된다. 최소값을 반영할 경우, 응용이 요구하는 최소 수준의 정밀도와 동일한 수준으로 클러스터 헤더에 의한 네트워크 정밀도가 유지되며 이후 클러스터 멤버 노드 선정을 통해 응용이 요구하는 최대 정밀도

와 같은 수준으로 네트워크 정밀도가 유지된다. 이는 다음의 식 (1)과 (2)로 표현된다.

Maximum k, (1)

$$E[\#CH] = \begin{cases} \max_{i=1}^{A(n)} \left(\frac{D_{crd}}{D_{rdd}} \right) \cdot T_a = k, & \text{if } U_a = C_{t(\max)} \\ \max_{i=1}^{A(n)} \left(\frac{D_{crd}}{D_{rdd}} \right) \cdot \left(\frac{T_a}{C_{t(\max)}} \right) = k, & \text{if } U_a \neq C_{t(\max)} \end{cases}$$

Minimum k, (2)

$$E[\#CH] = \begin{cases} \min_{i=1}^{A(n)} \left(\frac{D_{crd}}{D_{rdd}} \right) \cdot T_a = k, & \text{if } U_a = C_{t(\max)} \\ \min_{i=1}^{A(n)} \left(\frac{D_{crd}}{D_{rdd}} \right) \cdot \left(\frac{T_a}{C_{t(\max)}} \right) = k, & \text{if } U_a \neq C_{t(\max)} \end{cases}$$

A는 센서 노드의 센서의 수, 즉 응용의 개수이며, T_a 는 센서 필드의 전체 면적, U_a 는 단위면적, $C_{t(\max)}$ 는 클러스터의 최대 크기이다. 이 식에 의해 클러스터 헤더의 수인 k값이 결정되며, 이 k값은 클러스터 헤더 선정을 위한 식에 사용된다. 클러스터 헤더 선정을 위한 확률함수[5]는 다음의 식(3)과 같다.

$$P(i) = \begin{cases} \frac{k}{N - k * (r \bmod \frac{N}{k})} : C_i(t) = 1 \\ 0 : C_i(t) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

N은 노드의 개수, r은 현재 라운드, t는 현재 시간, P(i)는 클러스터 헤드가 되기 위한 문턱값이다. 이 식에 의하면 최근에 클러스터 헤더가 되었던 노드는 P(i)가 0이 되어 모든 노드가 돌아가며 클러스터 헤더가 될 수 있다. 제안하는 방법은 첫 라운드의 셋업에 위의 식(3)을 통해 클러스터 헤더를 선정하며 이후 라운드의 헤더 선정은 4.2의 과정을 따른다.

4.1.2 클러스터 멤버 노드 선정

초기 셋업에서 클러스터 헤더 선정 후, 클러스터 헤더가 된 노드는 자신의 멤버 노드를 정한다.

- $k = k_{\max}$ - 클러스터 헤더는 센서 필드 전체를 최대의 조밀도로 커버하게 되므로 클러스터 헤더 이외의 노드는 슬립상태로 진행한다.

- $k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$ - 클러스터 헤더는 센서 필드 전체를 커버할 수 없으므로 클러스터 멤버노드 선정 과정을 진행한다.

클러스터 헤더는 클러스터 참여 메시지를 브로드캐스팅 하며, 인접한 센서 노드는 받은 메시지의 신호 세기가 가장 큰 클러스터 헤더의 멤버노드로 참여한다. 인접한 클러스터 헤더가 없어 클러스터에 참여하지 못한 노드이나 다른 클러스터의 멤버 노드로 참여하고 있는 노드가 인접해 있을 경우, 네트워크로부터 고립되지 않기 위해 다음의 식(4)를 이용해 인접 클러스터의 2차 멤버 노드로 참여한다.

$$E[C_{m2}] = \max_{i=1}^{n-C_m} \left(\frac{E_{residual}}{E_{\max}} \right) : CH_{neighbor} = 0, C_{member} \geq 1 \quad (4)$$

4.2 셋업

4.2.1 클러스터 헤더 선정

첫 라운드 이후, 센서 데이터의 발생 및 수집 빈도와 데이터 크기에 대한 측정값, 그리고 긴급 데이터 발생률을 각각 V_f, V_l, V_{emg} 라고 했을 때, 각 센서별로 계산된 이 값과 이전 라운드에서 소비되었던 에너지 소비에 대한 비율이 다음 라운드의 클러스터 헤더를 선정하기 위한 변수로서 작용한다. 이는 데이터 송수신에 소비되는 에너지가 내부 프로세싱 소비에너지보다 크기 때문[19-21]이며, V_f, V_l, V_{emg} 는 각각 다음의 식(5)로 표현된다.

$$V_f = \frac{D_{rf}}{T_u}, V_l = \frac{D_{pd}}{T_u}, V_{emg} = \frac{D_{emg}}{T_u} \quad (5)$$

T_u 는 단위시간이며 각 응용별로 계산된 V_f, V_l, V_{emg} 를 클러스터 헤더 선정을 위한 식(6)의 변수로 사용하여 클러스터 헤더를 선정한다. 첫 라운드에서 클러스터 헤더로 선정되었던 노드는 다음 라운드에 클러스터 헤더가 될 수 없다.

$$E[CH] = \begin{cases} \max_{i=1}^{C_m} \left\{ \max_{j=1}^{A(n)} (V_{f_j}, V_{l_j}, V_{emg_j}), \frac{E_{residual}}{E_{\max}} \times C_{prob} \right\} : C_i(t) = 1 \\ 0 : C_i(t) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

4.2.2 클러스터 멤버 노드 선정

멤버노드 선정은 4.1.2와 같으나 멤버노드의 결정에 V_f, V_l, V_{emg} 값을 포함하며 다음의 식(7)로 표현된다. 인접한 클러스터 헤더가 없어 클러스터에 참여

하지 못한 노드이나 다른 클러스터의 멤버 노드로 참여하고 있는 노드가 인접해 있을 경우, 네트워크로부터 고립되지 않기 위해 위의 식(4)를 이용해 인접 클러스터의 2차 멤버 노드로 참여한다.

$$E[C_m] = \max_{i=1}^{n-C_m} \left\{ \max_{j=1}^{A(n)} (V_{f(i)}, V_{l(i)}, V_{emg(i)}), \frac{E_{residual}}{E_{max}} \right\} \quad (7)$$

다음의 Fig. 3은 제안하는 방법의 클러스터 선정 과정의 초기 셋업과 이후의 셋업과정을 비교한 것이다.

위의 Fig. 3과 같이 제안 방법은 셋업이 두 가지로 구분되며 초기 셋업은 LEACH의 형태를, 이후 셋업은 각 센서 값을 고려한 클러스터 헤드 및 클러스터 멤버노드 구성을 하고 있음을 알 수 있다. 이러한 과정을 거치면서 상호 유사한 데이터 특성을 갖는 노드들이 클러스터로 구성되게 되어 에너지 효율적인 동작이 가능하다.

4.3 데이터 수집 및 전송

다종의 센서에서 수집하는 데이터는 응용별로 각각 다른 $A_n(V_f, V_p, V_{emg})$ 값을 갖고 있다. 따라서 이들 중 가장 높은 데이터 전송 빈도를 갖는 응용에 맞추어 모든 응용의 데이터 전송주기를 조절하면 센서에서 수집한 모든 데이터의 전송이 가능하다. 그러나 높은 전송 빈도를 갖는 응용이라도 같은 데이터를

중복해서 보낼 수 있게 되므로 비효율적인 에너지 소비가 발생할 수 있다. 따라서 중복 데이터 검사를 통해 이전의 값과 중복되는 값은 배제한다. 그리고 데이터 전송 주기가 빈번하지 않더라도 전송해야 하는 데이터의 양이 많은 응용의 경우와 긴급 데이터 발생도 고려해야 한다. 다음의 Fig. 5는 중복해서 수집되는 데이터 값에 대한 일괄적인 전송을 했을 경우와 배제했을 경우를 구분하여 나타낸다.

Fig. 5의 $A_1(V_f, V_p, V_{emg}), A_2(V_f, V_p, V_{emg}), A_3(V_f, V_p, V_{emg}), A_4(V_f, V_p, V_{emg})$ 는 각각 긴급, 이미지, 온도, 습도 데이터 각각에 대한 예시이며, S 는 각각 그 시점에 샘플링된 데이터, 즉 수집한 데이터이다. (a)의 경우 3-2-2-2-4-3의 전송 데이터가 존재하나 (b)는 3-2-1-1-3-2로 중복 값 생략 여부에 따라 데이터 전송에 차이가 있는 것을 알 수 있다. 다음의 Fig. 6은 제안하는 방법의 라운드별 동작절차를 구분하여 설명한 것이다.

5. Performance Evaluation

제안 방법의 성능평가를 위해 기존의 몇 라우팅 기법들을 포함하여 실험을 진행하였다. 실험에는 MATLAB이 사용되었으며 센서 노드는 1000개, 무작위로 배치되는 구조이며 배치된 이후 고정된다. 센서 데이터 생성 모델은 센서 타입별 데이터 셋을 적

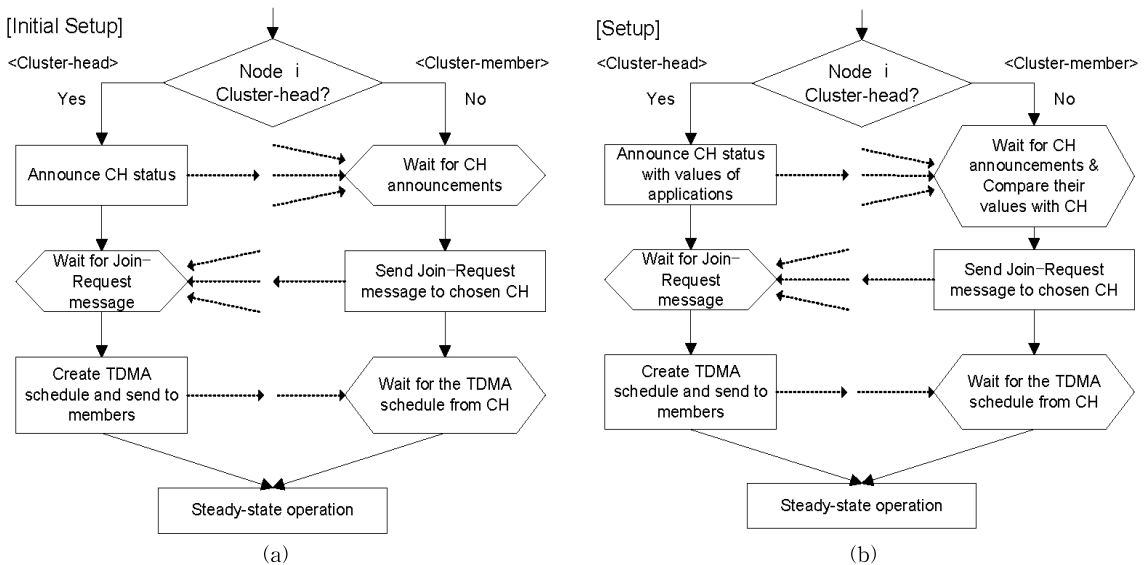


Fig. 4. Setup process comparison, (a) initial, and (b) normal setup.

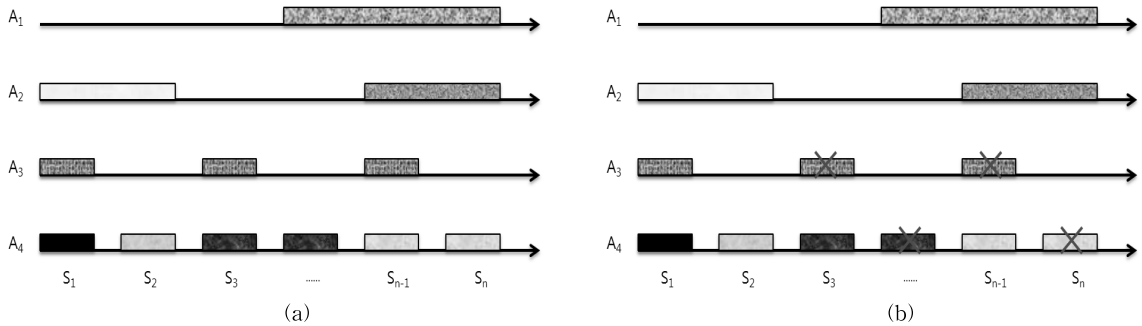


Fig. 5. Transmission comparison, (a) batch transmission, and (b) partial transmission.

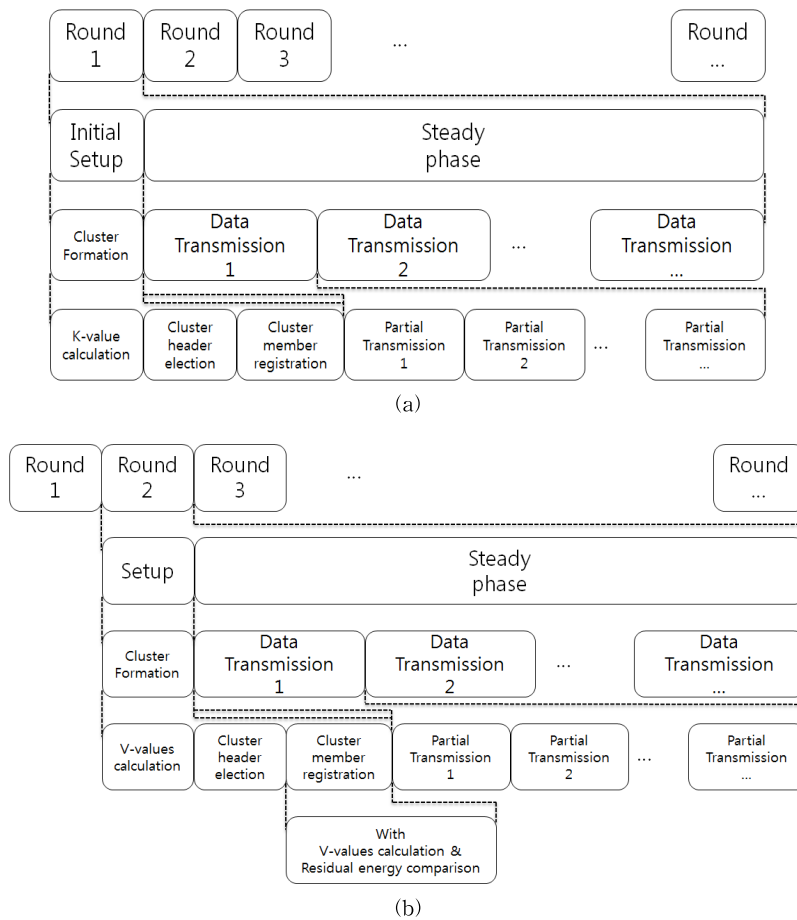


Fig. 6. Round procedures, (a) first round, and (b) other rounds.

용하였고 노드들 간 데이터 전송은 노드간 협업을 위한 멀티 홉 전송 모델을 기본으로 하였으며 초기 에너지는 동일하다. 싱크 노드는 자원 제한이 없으며 전송 범위는 전체 네트워크를 포함한다. 이에 따른 입력 파라미터 값은 다음의 Table 1과 같으며 이는

LEACH 기법의 성능평가 환경을 고려한 것이다.

5.1 에너지 소비

우선, 네트워크 운용시 효율적인 에너지 소비가 이루어지는지 확인하기 위해 네트워크 참여노드별

Table 1. Simulation parameters

Item	Value
Number of sensor nodes	$N = 1000$
Network field size	200m×200m
Transmission range (sensor node)	50 m (radius)
Transmission range (sink)	full coverage
Sensing coverage (sensor node)	10 m (radius)
Sensor node deployment strategy	Random
Sensor node power supply	1J
Electric Energy	$E_{elec} = 50n.J/bit$
Amplified energy of free space model	$E_{fs} = 10p.J/bit/m^2$
Amplified energy of multipath model	$E_{mp} = 0.0013p.J/bit/m^4$
Scheduling energy	$E_{schedule} = 5n.J/bit/signal$
Data aggregation energy	$E_{da} = 5n.J/bit/signal$
Message type & length	emergency : $l_1 = 10000bit$
	image : $l_2 = 5000bit$
	air-temperature : $l_3 = 1000bit$
	humidity : $l_4 = 1000bit$

에너지 소비율을 측정하였다. 측정 방식은 네트워크 운용시 자원고갈 노드가 처음으로 발생하는 시점을 기준으로 하였다. 측정 결과는 다음의 Fig. 7과 같으며 제안하는 방법은 기존의 방법 대비 약 3배 늦게 자원 고갈 노드가 발생하여 자원 고갈이 기존의 방법들 대비 비교적 완화된 형태로 진행되고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 제안하는 방법은 기존의 방법들 보다 자원관리 면에서 데이터 융합에 소비되는 에너지 발생을 완화하는 것을 알 수 있다.

5.2 데이터 수집

네트워크 가용시간의 증대와 함께 중요한 요소는 네트워크로부터 수집되는 데이터가 과연 실제해당 지역에서 발생하는 데이터와 같은지의 여부이다. 에너지 절약을 위해 일부 라우팅 기법들은 수집 데이터를 변형하거나 무시, 삭제하는 데이터 가공을 거쳐 전송하는 방법을 사용한다. 따라서 수집된 데이터의 적절성 여부를 판단하기 위해 데이터 수집률, 즉 원시데이터와 수집된 후의 데이터를 비교하는 과정을 거쳐 기존 기법과 제안하는 기법을 비교하였다. 수집률 비교는 네트워크에서 자원고갈노드가 20%까지 발생하였을 때까지의 데이터를 기준으로 하였으며 그 결과는 다음의 Fig. 8의 각 기법별로 측정된 데이

터 수집률 결과그래프와 같다.

측정 결과, 제안하는 방법은 기존 대비 최대 2배의 데이터 정확성을 갖고 있으며, 비교적 장시간 동작하는 기법인 Ed-RCS와 비교하였을 때, 80%이상의 정확도를 보이는 구간이 기존의 200 라운드에서 250 라운드 이상으로 연장된 것을 알 수 있다. 또한 450 라운드 이상 진행하더라도 70% 이상의 데이터 정확도를 갖는다.

5.3 네트워크 수명

다음의 Fig. 9는 기존 기법들과 제안하는 기법의 네트워크 동작 수명 비교그래프이다. 네트워크 구성 및 유지에 의미가 없는 잔여노드 100개 미만을 제외한 100-1000개 노드 구간에서 수명을 비교한 결과, 제안하는 방법은 기존 대비 최대 10배, 최소 0.8배 정도의 수명 증가를 보인다.

6. 결 론

본 연구에서 우리는 다중 센서를 사용하는 센서노드로 구성된 네트워크에서 클러스터링 기법의 적합성을 실험을 통해 평가하고 전송에 소비되는 에너지를 효율적으로 절감할 수 있음을 확인하였으며 특히,

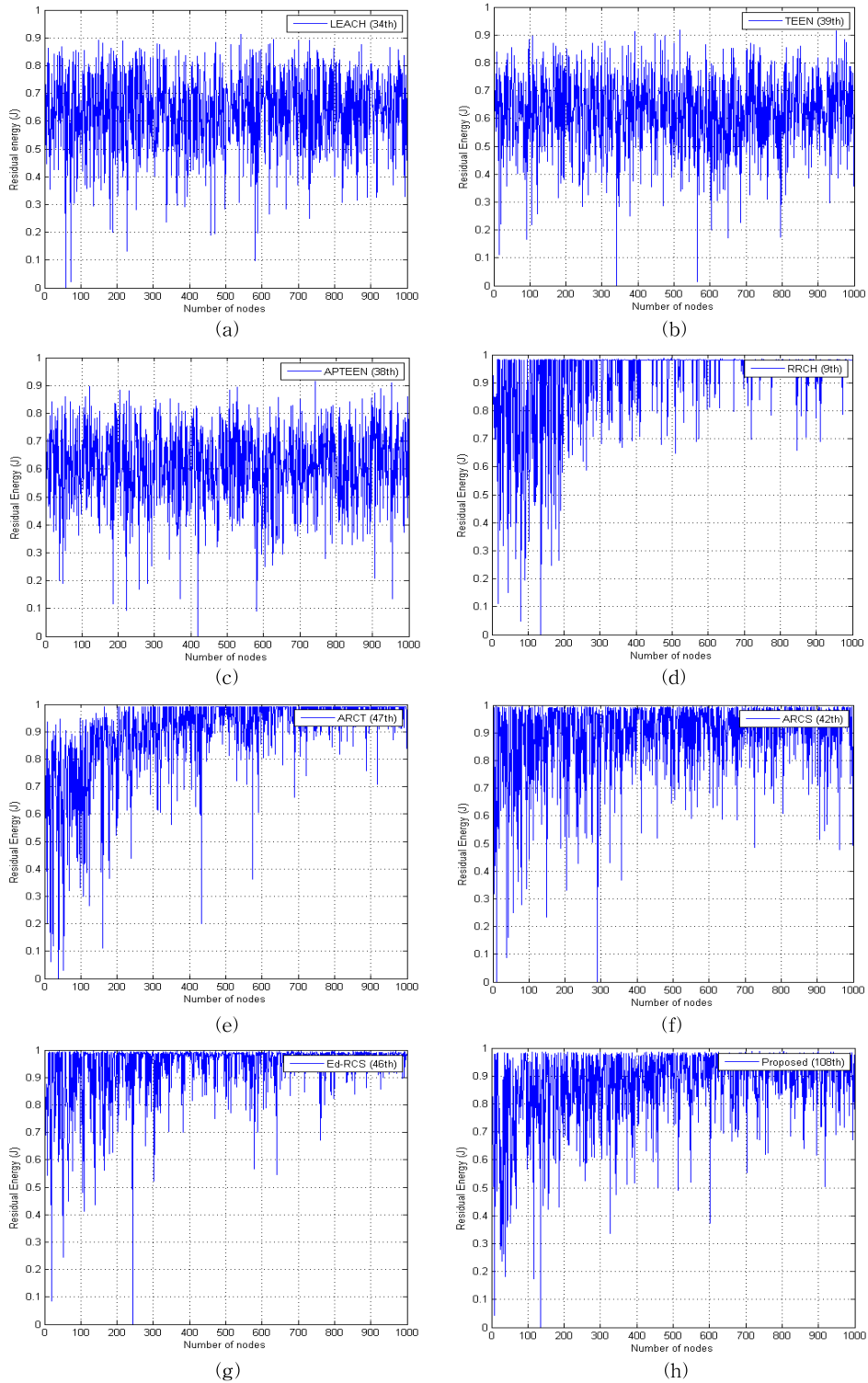


Fig. 7. Residual energy comparison. (a) LEACH, (b) TEEN, (c) APTEEN, (d) RRCH, (e) ARCT, (f) ARCS, (g) Ed-RCS, and (h) proposed scheme.

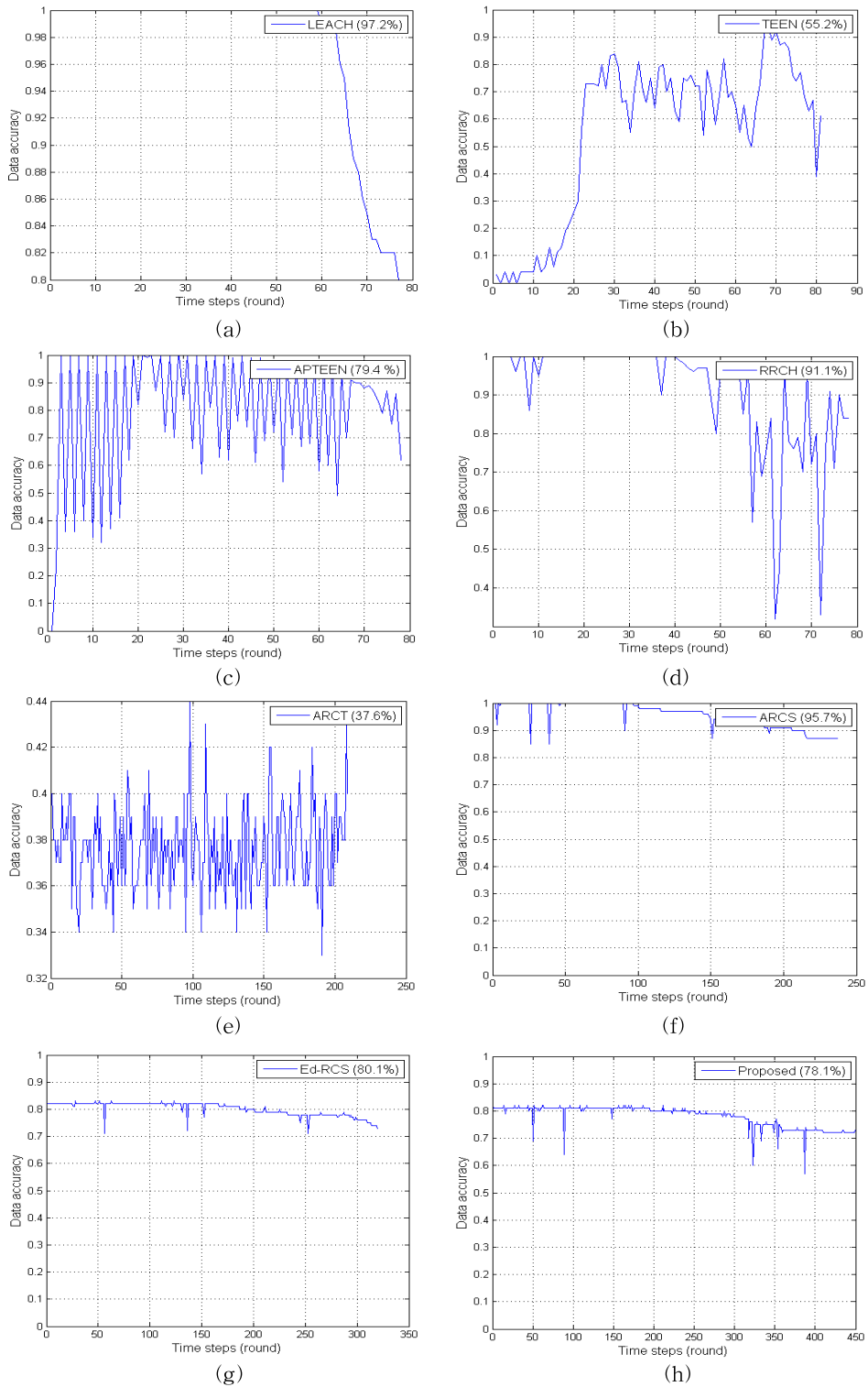


Fig. 8. Data accuracy comparison until 20% of dead nodes occurrence. (a) LEACH, (b) TEEN, (c) APTEEN, (d) RRCH, (e) ARCT, (f) ARCS, (g) Ed-RCS, and (h) proposed scheme.

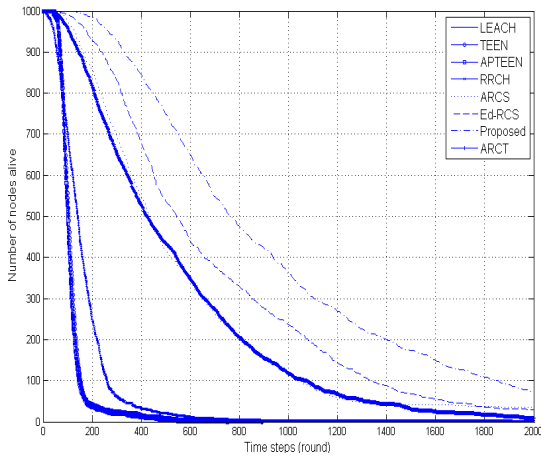


Fig. 9. Network lifetime comparison.

다중 센서 데이터 수집이 필요한 환경에서 에너지 효율적인 데이터 수집 및 전송을 위해서는 중복데이터의 처리와 데이터 성격별 분류가 중요한 요소임을 실험 결과 확인하였다. 향후, 우리는 현재 개발된 다양한 종류의 데이터를 성격 및 유형별로 특성을 나누어 분류하고, 해당 센서가 적용된 센서 네트워크에서 효율적으로 동작하는 라우팅 알고리즘을 설계하고자 한다.

REFERENCE

[1] D. Choi, S. Moh, and I. Chung, "Impact of Sensor Data Patterns on Performance Evaluation of Clustering Schemes in Wireless Sensor Networks," *Sensor Letters*, Vol. 11, pp. 249-258, 2013.

[2] D. Choi and I. Chung, "Fundamental Considerations: Impact of Sensor Characteristics, Application Environments in Wireless Sensor Networks," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 17, No. 4, pp. 441-457, 2014.

[3] H. Gao, X. Fang, J. Li, and Y. Li, "Data Collection in Multi-Application Sharing Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, IEEE Early Access Articles*, Vol. 26, Issue. 2, pp. 403-412, 2014.

[4] D. Suh and C. Ryu, "Multi-sensor Data

Fusion Using Weighting Method Based on Event Frequency," *The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 6, No. 4, pp. 581-587, 2011.

[5] W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 1, Issue. 4, pp. 660-670, 2002.

[6] A. Manjeshwar and D.P. Agarwal, "TEEN: a Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," *Proceedings 15th International Parallel and Distributed Processing Symposium*, pp. 30189a, 2001.

[7] A. Manjeshwar and D.P. Agarwal, "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks," *Proceedings International Parallel and Distributed Processing Symposium*, pp. 195-202, 2002.

[8] D. Nam and H. Min, "An Energy-Efficient Clustering Using a Round-Robin Method in a Wireless Sensor Network," *Proceeding of 5th ACIS International Conference on Software Engineering Research, Management & Applications*, pp. 54-60, 2007.

[9] D. Choi, S. Moh, and I. Chung, "Regional Clustering Scheme in Densely Deployed Wireless Sensor Networks for Weather Monitoring Systems," *Proceeding of The 12th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications*, pp. 497-502, 2010.

[10] D. Choi, J. Shen, S. Moh, and I. Chung, "Data prediction Strategy for Sensor Network Clustering Scheme," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 14, No. 9, pp. 1138-1151, 2011.

[11] S. Ganesan and R. Finch, "Monitoring of Rail Forces by Using Acoustic Signature Inspection," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 114, No. 2, pp. 165-171, 1987.

[12] M. Cerullo, G. Fazio, M. Fabbri, F. Muzi, and G. Sacerdoti, "Acoustic Signal Processing to Diagnose Transiting Electrictrains," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 6, No. 2, pp. 238-243, 2005.

[13] L. Cheng and S. Pakzad, "Agility of Wireless Sensor Networks for Earthquake Monitoring of Bridges," *Proceeding of Sixth International Conference on Networked Sensing Systems*, pp. 1-4, 2009.

[14] M. Suzuki, S. Saruwatari, N. Kurata, and H. Morikawa, "A High-density Earthquake Monitoring System Using Wireless Sensor Networks," *Proceeding of SenSys*, pp. 373-374, 2007.

[15] R. Tan, G. Xing, J. Chen, W. Song, and R. Huang, "Qualitydriven Volcanic Earthquake Detection Using Wireless Sensor Networks," *Proceeding of Real-Time Systems Symposium*, pp. 271-280, 2010.

[16] A. Mainwaring, D. Culler, J. Polastre, R. Szewczyk, and J. Anderson, "Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring," *Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*, pp. 88-97, 2002.

[17] R. Szewczyk, A. Mainwaring, J. Polastre, J. Anderson, and D. Culler, "An Analysis of a Large Scale Habitat Monitoring Application," *Proceedings of the 2nd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 214-226, 2004.

[18] R. Szewczyk, E. Osterweil, J. Polastre, M. Hamilton, A. Mainwaring, and D. Estrin, "Habitat Monitoring with Sensor Networks," *Journal of Communications of the ACM*, Vol. 47, Issue. 6, pp. 34-40, 2004.

[19] G.J. Pottie and W.J. Kaiser, "Wireless Integrated Network Sensors," *Journal of Communications of ACM*, Vol. 43, No. 5, pp. 51-58, 2000.

[20] J. Hill and D. Culler, *A Wireless-embedded Architecture for System Level Optimization*, UC Berkeley Technical Report, 2002.

[21] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An Energy Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *Proceedings of INFOCOM*, Vol. 3, pp. 1567-1576, 2002.



최 동 민

2003년 경희대학교 공과대학 졸업(공학사)
 2007년 조선대학교 정보컴퓨터 교육 졸업(교육학석사)
 2010년 조선대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

2013년 조선대학교 컴퓨터공학과 박사후연구원
 2014년~현재 조선대학교 자유전공학부 조교수
 관심분야 : 네트워크 보안, 센서 네트워크, 모바일 센서 응용 기술, VPA 기술, U 헬스케어, 스마트 그리드 홈 네트워크 보안, 정보 윤리



정 일 용

1983년 한양대학교 공과대학 졸업(공학사)
 1987년 City University of New York 전산학과(전산학석사)
 1991년 City University of New York 전산학과(전산학박사)

1991년~1994년 한국전자통신연구소 선임연구원
 1994년~현재 조선대학교 컴퓨터공학부 교수
 관심분야 : 네트워크 보안, 병렬 알고리즘, 모바일 애드혹 네트워크