

A Design of the Safe Zone Managing Algorithm with the Variable Interval Sensing Scheme for the Sensor Networks

Hyun-Chul Cha *

Abstract

In this paper, we propose a scheme to prolong the lifetime of the sensor network by reducing the power consumption of the sensor node. The proposed algorithm reduces the number of transmissions and sensing at the application layer. We combine the VIS scheme with the MSZ algorithm and call it as the SZM/VIS algorithm. The actual temperature data was collected using the sensor nodes to assess the performance of the proposed algorithm. The proposed algorithm was implemented through the programming and was evaluated under various setting values. Experimental results show that the SZM/VIS has a slightly improved transmission ratio than that of the MSZ while has the periodic transmission capability like as the MSZ. Also the SZM/VIS can significantly reduce the sensing ratio like that of the VIS. Our algorithm has the advantages of instantaneous, simplicity, small overhead and robustness. Our algorithm has just negligible side effects by controlling the parameter properly depending on the application types. The SZM/VIS algorithm will be able to be used effectively for the applications that need to be managed within a certain range of specific properties, such like crop management.

▶ Keyword : Sensor Networks, Network Lifetime, Energy-efficient, MSZ, VIS, SZM/VIS

1. Introduction

WSN(Wireless Sensor Network)은 모든 사물에 컴퓨팅과 통신 능력을 부여해 언제, 어디서나, 어떠한 대상과도 의사소통이 가능한 지능형 컴퓨팅 환경을 구현하기 위한 것이며, 유비쿼터스 사회의 근간이 된다[1]. 이러한 유비쿼터스 센서 네트워크 기술을 기반으로 하여 추진 가능한 사업 적용 분야로는 군사, 의료, 환경, 산업현장, 물류, 농업 등 다양한 분야들이 있다 [2].

무선 센서 네트워크는 특정 환경에 대한 정보를 감지하는 센서 노드와 센서 노드들로부터 데이터를 수집하여 관심 이벤트를 제공하는 싱크노드로 구성된다. 무선센서 네트워크는 일반적으로 센서 노드가 한정적인 자원과 저전력 환경에서 무선 통신을 기반으로 동작하므로 노드의 전력소모 최소화 및 에너지 효율적인 네트워크를 구성하는 것이 가장 중요하고 필수적인 설계 요구사항이다[3,4].

무선 센서 네트워크에서 에너지 효율을 높이려는 많은 시도가 있어왔다. 이러한 노력들은 주로 물리계층, MAC 계층 및 네트워크 계층에서의 다양한 시도들이라 할 수 있다. 그러나 이러한 노력만으로 에너지 낭비를 줄이는 데에는 한계가 있으며 응용계층에서 또한 효율적 에너지 소비를 위한 방법들이 고려되어야 할 것이다. 응용계층에서 에너지 소비를 줄이는 방법으로는 전송해야 할 데이터의 발생 자체를 줄이는 방법을 고려할 수 있으며 전송해야 할 데이터의 양이 줄어들게 되면 이에 따라 하위의 라우팅 프로토콜과 MAC과 물리계층 모두의 전송 시도를 줄일 것 이므로 불필요한 에너지 소비를 원천적으로 해소하는 방법이 될 것이다.

본 논문에서는 응용 데이터의 수집을 위한 센싱 횟수를 줄이고 더불어 이의 전송횟수를 줄여 센싱과 전송으로 인한 에너지 소비를 최소화하며 이를 통해 센서 네트워크의 수명을 늘릴 수 있도록 하는 기법을 제안한다.

• First Author: Hyun-Chul Cha, Corresponding Author: Hyun-Chul Cha
*Hyun-Chul Cha (hccha@dyu.ac.kr), Dept. of Computer Information Warfare, Dongyang University
• Received: 2016. 08. 17, Revised: 2016. 08. 24, Accepted: 2016. 10. 11.
• This study was supported by grant from Dong Yang University in 2015.

본 논문의 구성은, 서론에 이어 2장에서는 먼저 관련 연구들에 대해 살펴본 후 연구의 필요성을 설명하고 이어서 본 논문에서 제안하는 알고리즘에 대해 자세히 설명한다. 3장에서는 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 실시한 실험과 그 결과에 대해 기술한다. 그리고 마지막으로 4장에서 결론을 기술한다.

II. The Proposed Scheme

1. The related works and the need for research

센서 네트워크는 u-헬스케어, 재난·재해 방지, 범죄 예방, 환경 감시, 군사 등 많은 응용 분야를 가지고 있으나, 본 논문에서는 특정 속성이 일정한 범위 내에서 관리되어야 하는 응용 분야를 그 대상으로 고려한다. 이러한 응용분야는 특히 농·생명 분야에서 많이 볼 수 있으며 대표적인 경우로 비닐하우스에서 농작물 등을 재배하는 경우를 가정해 볼 수 있다. 농작물의 성장과 수확에는 수분과 영양분 외에도 온도나 습도, 조도 등의 환경적 속성이 큰 영향을 미치게 되므로 온도나 습도와 같은 속성이 너무 높거나 혹은 너무 낮지 않은 일정한 범위 내에서 관리되어야 할 것이다. 만약 온도나 습도가 일정 수준 이상으로 올라간다면 출입문을 개방하거나 환풍기 혹은 냉방장치 등을 작동시켜 온습도를 적정 수준 이내로 떨어뜨릴 수 있다. 반대로, 지나치게 낮다면 난방장치나 가습장치 등을 작동시켜 역시 온습도를 적정 수준 범위 내에 있도록 할 수 있을 것이다. 가축 축사 관리 역시 같은 방법으로 온습도 등이 적정 수준 범위 내에서 관리되어야 하는 경우라 할 수 있으며 이 외에도 간장, 된장, 청국장 등과 같은 발효 식품의 제조 시에도 발효를 위해 온도와 습도 등을 일정 범위 내에서 관리하여야 한다. 이처럼 농수축산 및 식품 분야의 많은 경우에서 특정 속성이 일정한 범위 내에서 관리되어야 하는 응용 사례들을 찾아볼 수 있다[5].

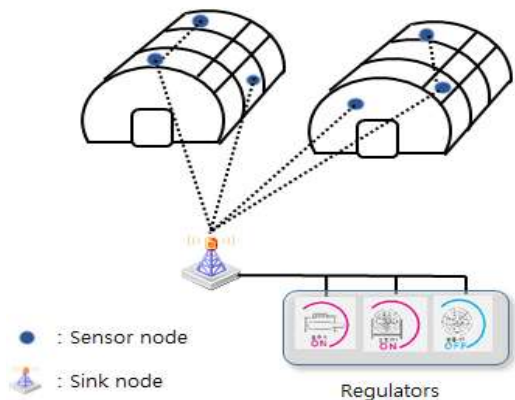


Fig. 1. Applied environments of the proposed method

그림 1은 이 논문에서 제안하는 기술의 적용환경을 보여주고 있다. 비닐하우스 등과 같은 곳에서 농작물을 재배할 경우, 이곳에 설치된 센서 노드로부터 데이터를 수집하고 수집된 데이터를 분석하여 냉난방기 등 각종 조절장치(regulator)를 가동함으로써, 온습도 등과 같은 환경적 속성을 적정 범위 안에서 관리하는데 본 기술이 사용될 수 있을 것이다.

위와 같은 응용 환경에서 센서 네트워크를 사용한다고 가정할 때, 가장 단순한 응용 프로토콜로는 센서 노드가 일정 시간 간격 주기로 온도나 습도와 같은 속성 값을 센싱하여 센싱한 모든 데이터를 전송하는 방식을 고려해 볼 수 있다. 그러나 이 방법은 주기가 짧을 경우 많은 센싱과 데이터 전송을 야기하여 전원 소모가 많아지므로 노드와 네트워크의 수명이 짧아지게 되며 반대로 주기가 긴 경우에는 데이터의 변화나 특정 사건의 발생과 같은 이벤트를 놓칠 수 있는 문제점이 있으므로 상시 전원을 제공하기 힘든 센서 네트워크 환경에서는 실제로 사용하기는 힘든 방법이라 할 수 있다.

센서 노드에서 많은 전력 소모를 유발하는 부분이 송수신기에서의 데이터 송수신이므로 데이터의 전송 횟수를 줄이기 위해 TEEN[6]이나 APTEEN[7]에서 사용하는 방식이나 이를 개선한 MSZ[5] 알고리즘 등이 제시 되었다.

TEEN은 임계치(threshold)를 사용하여 노드가 센싱한 속성 값이 임계치를 넘을 때에만 전송하도록 함으로써 전송 횟수를 획기적으로 줄일 수 있게 해 준다. 또한, 센싱한 속성 값이 임계치를 넘었다 하더라도 이전의 값과 변화가 없거나 혹은 거의 차이가 나지 않는다면, 전송하지 않도록 하므로 더더욱 전송 횟수를 줄일 수 있게 한다[6]. 하지만 TEEN은 센싱한 속성 값이 임계치에 미치지 못할 경우 사용자는 데이터를 전혀 얻을 수 없으므로 데이터의 변화 추세에 대한 정보가 필요하거나, 주기적인 보고가 필요한 응용 등에서는 적합하지 않다. 아울러, 노드가 어떠한 이유에서 동작을 중지했다 하더라도 그 사실을 알 수 없다. 또한, 만약 노드들이 임계치 값들을 수신하지 못하면 통신을 할 수 없으며 사용자는 네트워크로부터 어떤 데이터도 받을 수 없게 되는 문제점을 가진다[8,9].

APTEEN은 TEEN의 확장판으로 시간에 민감한 이벤트에 반응함은 물론 주기적 데이터 모니터링과 같은 응용에도 사용될 수 있도록 TEEN을 수정하였다[7]. 그러므로 APTEEN은 능동적(proactive) 정책과 반응적(reactive) 정책 모두를 결합하며 사용자로 하여금 임계치 값들을 조절하여 에너지 소비를 조절할 수 있는 유연성을 제공한다는 장점을 가진다. 그러나 TEEN에 비해 에너지 효율이 상대적으로 떨어지며 임계치 함수 등을 구현하는데 따르는 부가적인 복잡성의 단점을 가진다 [8,9].

MSZ는 특정 속성을 일정한 범위 내에서 관리하여야 하는 응용에 사용하기 위해 개발되었다. 이를 위해 MSZ에서는 존(zone)이라는 개념을 도입하였다. 이를 통해 속성 값이 관리되어야 하는 일정한 범위를 안전 존이라 정의하고 안전 존 이외의 영역을 위험 존이라고 정의하였다. 존을 정의하기 위해 사용

한 존 임계치 이외에 값 임계치, 시간 임계치 등의 임계치를 적용하여 센싱 값이 안전 존 영역에 있을 때에는 속성이 안전하게 관리되고 있으므로 가끔씩 온도의 변화 추이나 노드의 동작 여부만 확인할 수 있게 하고, 반대로 현재 센싱 값이 위험 존에 있다면 정확한 상황 파악과 관리를 위해 센싱 값이 자주 전송될 수 있도록 하고 있다. MSZ는 주기적 전송 기능을 가지면서 APTEEN보다 전송효율 측면에서 더 좋은 성능을 보여준다[5].

위에서 살펴본 TEEN, APTEEN, MSZ는 모두 센서 네트워크의 수명을 늘리기 위해 전송 횟수를 줄이는데 초점을 맞춘 방법들이라 할 수 있다. 즉, 이들은 연속적 혹은 주기적으로 센싱을 실시하여 측정된 값들을 임계치 혹은 이전 전송 값 등과 비교하여 특정 조건을 만족할 경우에는 전송을 하고 그 외에는 전송을 하지 않음으로써 전송 횟수를 줄이는데 그 목적이 있다고 할 수 있다. 그러나 이것은 센싱한 자료들 중 일부는 전송되지 않고 버려질 수 있다는 것을 의미하며 센싱에 따른 에너지가 낭비될 수 있다는 것을 뜻한다.

VIS[10]는 센싱 횟수를 줄이기 위해 고안되었다. VIS 역시 관리하고자 하는 속성인 온도가 너무 높거나 혹은 너무 낮지 않은 적정 범위 내에 위치할 수 있도록 관리하기 위해 안전 존의 개념을 사용한다. VIS에서는 안전 존의 중앙값을 구한 후 현재 측정값이 안전 존 안에 있고 안전 존의 중앙값 근처에 있다면 긴 다음 센싱 간격을 가져도 되며, 중앙값으로부터의 거리가 멀어질수록, 즉 위험 존에 가까워질수록, 더 짧은 다음 센싱 간격을 갖도록 한다. 또한, 현재 측정값이 위험 존에 위치한 경우에는 연속적이거나 매우 짧은 간격으로 센싱 하도록 한다. 이는 온도와 같은 속성은 점진적으로 변화하므로 현재 측정값이 안전 존의 중앙 근처에 있다면 앞으로 당분간은 온도가 안전 존에서 벗어날 일이 없다고 볼 수 있으며 현재 측정값이 안전 존의 상하 경계 부분에 위치하고 있다면 이것은 온도가 가까운 시간 내에 안전 존에서 벗어날 수도 있음을 의미한다. 한편, 현재 측정값이 위험 존에 위치하고 있다면 이것은 온도가 안전 존 안쪽으로 들어갈 때 까지 계속해서 관찰하고 관리하여야 함을 의미한다.

본 논문에서는 전송횟수를 줄이기 위해 고안된 MSZ와 센싱 횟수를 줄이기 위한 방법인 VIS를 결합한 알고리즘을 제시한다. 이를 통해 센싱 횟수와 전송 횟수 모두 줄임으로써 센서 노드의 전력 소모를 줄일 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. The Proposed method

본 논문에서 제안한 기법은 대표적 속성 중 하나인 온도를 그 대상으로 한다. 먼저, 관리하고자 하는 온도의 영역을 구분하기 위해 존(zone)이라는 개념을 사용하며 온도가 너무 높거나 너무 낮지 않은 적정 범위 내에 위치할 때를 안전 존(safe zone)라고 하고 안전 존 밖의 영역을 위험 존(unsafe zone)이라 부르기로 한다[5,10].

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 센싱에 관련된 부분과 전

송에 관련된 부분으로 구성되며, 알고리즘의 설명에 앞서 먼저, 알고리즘에서 사용하는 파라미터들에 대해 설명한다.

본 알고리즘에서 사용하는 파라미터들은 크게 존 관련 파라미터, 전송 관련 파라미터, 센싱 관련 파라미터 등 세 가지 종류로 나뉘볼 수 있으며 각 파라미터들과 그 의미는 표 1과 같다.

Table 1. Parameters of Algorithm

| Type | Name | Descriptions |
|-------------------------|-----------|---------------------------------------|
| Zone Parameters | Z_{hi} | Zone Upper Limit |
| | Z_{low} | Zone Lower Limit |
| | Z_{mid} | Zone Mean, $(Z_{hi}+Z_{low})/2$ |
| Transmission Parameters | V_{gap} | Value Gap Threshold |
| | T_{in} | Time Interval Threshold in SafeZone |
| | T_{ex} | Time Interval Threshold in UnsafeZone |
| Sensing Parameters | I_{max} | Max. of Next Sensing Interval |
| | I_{min} | Min. of Next Sensing Interval |
| | d_{max} | Max. of Distance |

먼저, 존 영역의 구분을 위해 존 상한 값 Z_{hi} 와 존 하한 값 Z_{low} 를 정의하며, Z_{hi} 와 Z_{low} 간의 중앙값을 Z_{mid} 라고 정의한다.

알고리즘의 전송과 관련된 부분에서, 측정된 데이터의 전송 여부를 결정하기 위해 세 개의 파라미터를 사용한다. V_{gap} 은 측정값의 변화를 고려하기 위해 사용되며, 저장된 이전 전송값과 현재 측정값의 차이의 임계치를 나타낸다. T_{in} 과 T_{ex} 두 파라미터들은 전송 간격의 변화를 고려하기 위해 사용되며, 각각 안전 존 내부에서의 이전 전송과의 시간차 임계치(T_{in})와 위험 존에서의 이전 전송과의 시간차 임계치(T_{ex})를 나타낸다.

전송은 다음과 같은 규칙에 따라 이루어진다. 만약 측정값(V_c)이 위험 존에 위치하는 경우에는, V_c 가 이전 저장값(V_s)과 V_{gap} 이상의 차이가 나는 경우 혹은 이러한 차이가 나지 않더라도 이전 전송 후 T_{ex} 이상의 시간 동안 전송을 하지 않은 경우 전송을 하게 된다. 한편, V_c 가 안전 존에 위치한다면, 현재 안전한 상태이므로 가끔씩 온도의 변화 추세만 알 수 있도록 이전 전송과 T_{in} 이상의 시간 차이가 날 경우에만 전송한다. 이를 통해 특히 안전 존에서 전송 횟수를 줄일 수 있는데 이는 안전 존에서는 전송 하는 경우가 주기적 전송 한 가지만 있고 또 T_{in} 이 T_{ex} 보다 큰 값을 가지기 때문이다.

다음으로 알고리즘의 센싱과 관련된 부분을 살펴본다. 본 논문에서는 센싱에 따른 에너지 소비를 줄이기 위해 연속적이거나 혹은 주기적인 센싱 대신 현재의 측정값을 기초하여 다음 센싱 간격을 가변적으로 결정함으로써 센싱 횟수를 줄인다. 다음 센싱 간격(next interval: I_{next})을 결정함에 있어 현재 측정값(V_c)이 위험 존에 위치한다면 이는 온도가 안전 존 안쪽으로 들어갈 때 까지 계속해서 관찰하면서 관리하여야 함을 의미하므로 짧은 주기적 센싱 기법을 사용하여 센싱 한다. 반대로 V_c 가 안전 존에 위치하는 경우에는 V_c 가 안전 존의 중앙(Z_{mid})으로부터 떨어진 거리를 구한 후 이 거리에 기초하여 다음 센싱 간격을 결정하게 된다. 즉, V_c 가 Z_{mid} 로부터 가까울수록 긴 다

음 센싱 간격을 가지고 Z_{mid} 로부터 멀수록 짧은 다음 센싱 간격을 갖게 한다. 이는 안전 존의 중앙에 가까울수록 온도가 위험 존으로 진입할 때까지의 시간이 오래 걸릴 것이라는 예상에 기초한다. 이러한 가변 간격 센싱을 통해 불필요한 센싱 횟수를 줄여 에너지 소비를 최소화 한다.

현재 측정값에 의해 계산되는 다음 센싱 간격(I_{next})은 최대 간격(I_{max})과 최소 간격(I_{min})의 제한이 있으며, $I_{max} \geq I_{next} \geq I_{min}$ 의 관계를 갖는다. I_{next} 는 다음 식 (1)과 같이 계산할 수 있으며, 식 (1)에서 d 는 현재 측정값이 존 중앙으로부터 떨어진 거리(distance)를 의미하며 d_{max} 는 d 가 가질 수 있는 최댓값을 의미한다.

$$I_{next} = I_{max} - I_{max} \cdot \frac{d}{d_{max}}, \text{ where } d = |Z_{mid} - V_c| \quad (1)$$

이러한 개념을 알고리즘으로 표현하면 아래와 같으며 이 알고리즘은 가변간격 센싱을 사용하여 존을 안전하게 관리하기 위한 알고리즘이므로 가변간격 센싱 기반 안전 존 관리 알고리즘(SZM/VIS: Safe Zone Managing Algorithm with Variable Interval Sensing Scheme)이라 부르기로 한다.

- (1) 노드는 센싱 한다.
 - 이 센싱이 첫 번째이면 센싱한 속성의 값(V_C)을 임시 저장소인 V_S 에 저장하고 현재 시각(T_C)을 T_S 에 저장한다.
- (2) 노드는 센싱한 속성의 값 V_C 가 안전 존 영역에 위치하는지 위험 존 영역에 위치하는지 다음과 같이 판단한다.
 - if $Z_{low} \leq V_C \leq Z_{hi}$ then V_C is in SafeZone
else V_C is in UnsafeZone
- (3) 전송은 V_C 가 아래 조건을 만족할 때에만 이루어지며, 전송을 한 경우에는 V_C 를 V_S 에 T_C 를 T_S 에 각각 저장한다. 만족하지 않으면 단계 (4)로 간다.
 - V_C 가 UnsafeZone에 위치하면서,
 $|V_C - V_S| \geq V_{gap}$ 혹은
 $T_C - T_S \geq T_{ex}$ 를 만족하는 경우
 - V_C 가 SafeZone에 위치하면서,
 $T_C - T_S \geq T_{in}$ 를 만족하는 경우
- (4) 다음 전송 간격 I_{next} 값을 V_C 에 따라 다음과 같이 계산한다.
 - V_C 가 UnsafeZone에 위치하면,
 $I_{next} = I_{min}$
 - V_C 가 SafeZone에 위치하면,
$$I_{next} = I_{max} - I_{max} \cdot \frac{d}{d_{max}}$$

단, if $I_{next} < I_{min}$ then $I_{next} = I_{min}$
- (5) I_{next} 만큼 기다린 후 단계 (1)로 간다.

센싱 값이 안전 존 영역에 있을 때에는 온도가 안전하게 관리되고 있으므로 가끔씩 온도의 변화 추이나 노드의 작동 여부

만 확인하면 될 것이며 반대로 현재 온도가 위험 존에 있다면 이는 정확한 상황 파악과 관리를 위해 온도는 자주 측정되고 전송되어야 할 것이다. 우리의 프로토콜은 이러한 요구조건을 만족 시킬 수 있도록 현재 측정값을 기반으로 하여 다음 센싱 간격을 결정할 수 있도록 설계하였으며 이전 전송값과 임계치 이상의 차이가 나거나 이전 전송 시간으로부터 일정시간이 지난 후에만 전송하도록 하여 전송횟수를 줄이며 이를 통해 에너지를 효율적으로 사용할 수 있게 하였다.

우리의 알고리즘은 현재 측정값이 획득되면 바로 전송 여부와 다음 센싱 시간을 결정할 수 있으므로 즉시성을 가지며, 몇 개의 파라미터만 사용하여 간단히 구현할 수 있으므로 단순하다는 장점을 가진다. 또한 알고리즘이 수행될 때 처음 한 번만 파라미터 값들이 설정되면 실행 시간에는 다른 요소들이 추가로 필요하지 않으므로 작은 오버헤드와 강건성을 가질 수 있다.

III. The Experimental Results

제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 먼저 실제 센서노드를 이용하여 온도를 측정하였다. 사용된 제품은 한백전자 ZigbeX 모델로서 단말 노드에서 온도를 센싱하여 베이스 노드로 전송하도록 하였으며 실험 환경은 표 2와 같다[5, 10].

Table 2. Experimental environment

| | |
|-----------------------------------|---|
| Used Sensor node | HanBack ZigbeX Ver. 1.4 |
| Measurement Period | 2013.12.12. ~ 2013.12.19(7days) |
| Measurement Environment | Outside of building |
| Sensing and transmitting Interval | Sensing and transmitting at every 12 second |

측정 결과 총 49,910회의 온도 값이 센싱되어 베이스 노드로 전송되었다. 매 12초 간격으로 7일간 전송하면 산술적으로는 50,400회(7일×24시간×60분×5개/분)의 자료가 수집되어야 하나 실제로는 전체 데이터의 약 0.97%에 해당하는 490회의 데이터 손실이 발생하였으며 이는 전송과정의 에러 발생 등의 이유에 기인한다. 이렇게 측정하여 수집한 자료를 기본 데이터라고 부르기로 한다.

본 논문에서는 이들 기본 데이터를 사용하여 제안한 알고리즘의 적용에 따른 성능을 조사하였다. 이를 위해 Visual Basic을 이용하여 알고리즘을 구현하고 기본 데이터에 적용한 후 그 결과를 비교하였다.

프로그램에서 알고리즘 구현을 위해 사용한 주요 임계치와 환경 설정 값은 다음 표 3과 같다.

Table 3. Environment values used in algorithm implementation

| Z_{hi} | Z_{low} | Z_{mid} | d_{max} | V_{gap} | T_{ex} | I_{min} | $T_{in} \& I_{max}$ |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|---------------------|
| 25°C | 5°C | 15°C | 10 | 1°C | 10m. | 12s. | Variable |

우리는 존의 상한과 하한 임계치로 각각 25°C와 5°C를 사용하였다. 이로부터 존 중앙값은 15°C로 계산할 수 있으며 거리의 최솟값(d_{max})은 10이 될 것이다. 전송을 위해 사용하는 온도 차이 임계치인 V_{gap} 은 1°C를 사용하였고 위험 존에서의 전송 시간차 임계치인 T_{ex} 는 10분을 사용하였다. 다음 센싱 간격의 최솟값(I_{min})은 기본 데이터가 매 12초 간격으로 측정되었으므로 12초가 된다.

안전 존에서의 전송 시간차 임계치(T_{in})와 다음 센싱 간격의 최댓값(I_{max})은 그 값을 변화해 가면서 성능을 측정하였다.

한편, 우리가 사용한 존의 상한과 하한 임계치 환경에서 전체 측정횟수 중 안전 존에 속하는 센싱 횟수는 41.5%(20,732회)로, 위험 존에 속하는 센싱 횟수는 58.5%(29,178회)로 분류되었다.

그림 2에서는 본 논문에서 제안한 SZM/VIS의 성능을 알아보기 위해 SZM/VIS를 APTEEN 및 MSZ와 전송률 측면에서 비교해 보았다. APTEEN은 TEEN과 달리 주기적 전송 기능을 가지므로 비교 대상으로 선정하였으며, APTEEN에서 전송 대상 선정 부분만을 동일 조건하에서 구현하여 비교하였다. 또 MSZ에서는 고정 주기 센싱을 사용한다고 가정한다. 이 실험에서 T_{in} 은 30분, I_{max} 는 2분으로 하였다.

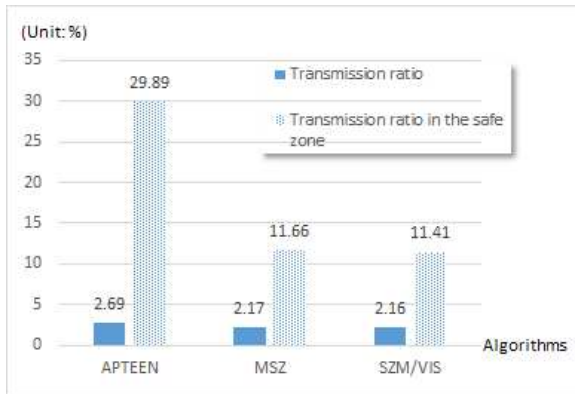


Fig. 2. Comparison of the transmission ratio for algorithms

그림 2에서 세로축은 발생한 데이터 중에서 전송되는 데이터의 비율을 나타낸다. APTEEN은 V_{gap} 임계치와 T_{ex} 임계치만을 사용하며, 발생 데이터 중 2.69%를 전송함을 알 수 있다. 이것은 센싱 데이터 전체를 무조건 전송하는 경우와 비교했을 때 97.31%의 데이터는 전송하지 않는다는 것을 의미한다. MSZ의 경우에는 V_{gap} 임계치와 T_{ex} 임계치 이외에 T_{in} 임계치를 사용하며 이 알고리즘의 경우 안전 존 내에 있을 때에는 전송을 더더군다나 줄여줌으로 APTEEN 보다 0.52% 더 줄어든 2.17%의 전송률을 가짐을 볼 수 있다. 본 논문에서 제안하는

MSZ에 VIS를 통한 가변 간격 센싱 기능을 추가한 SZM/VIS의 경우에는 MSZ 보다 전송률이 0.01% 더 줄어드는 것을 볼 수 있으나 MSZ와 SZM/VIS의 전송률 차이는 크지 않음을 알 수 있다. 이것은 VIS 알고리즘을 사용할 경우 센싱 자체를 줄일 수 있으므로 전송 대상인지를 판단하기 위한 데이터 수 자체가 줄어들게 되므로 미세하나마 MSZ 보다 SZM/VIS가 전송률 측면에서 더 나은 성능을 보여주게 된다.

MSZ와 SZM/VIS가 APTEEN 보다 전송률 측면에서 더 좋은 성능을 보여주는 것은 안전 존에서의 전송을 줄일 수 있기 때문이다. 이를 확인하기 위해 전체 전송 중에서 안전 존에서의 전송이 차지하는 비율을 확인하였다. 그 결과 APTEEN은 전체 전송 중 29.89%가 안전 존에서의 전송이었으나 MSZ에서는 11.66%가, SZM/VIS에서는 11.41%가 안전 존에서의 전송이었다. 결국 안전 존에서의 전송을 줄임으로써 전체 전송 횟수를 줄일 수 있었다는 것을 알 수 있다.

그림 3은 그림 2와 동일한 환경에서 세 알고리즘의 센싱률을 비교하였다. 기본적으로 APTEEN이나 MSZ는 전송횟수를 줄이는데 초점을 맞춘 알고리즘이므로 데이터의 센싱은 연속적이거나 고정된 주기로 실행하게 된다. 본 실험에서는 매 12초 고정된 간격으로 센싱한 데이터를 사용하였다. 그림 3은 APTEEN이나 MSZ에서 센싱한 횟수를 100%로 하였을 때 SZM/VIS가 얼마나 센싱 횟수를 줄일 수 있는지를 보여준다. 그림 3에서 볼 수 있는 것처럼 SZM/VIS는 APTEEN이나 MSZ에 비해 약 30%의 센싱을 줄일 수 있음을 보여준다.

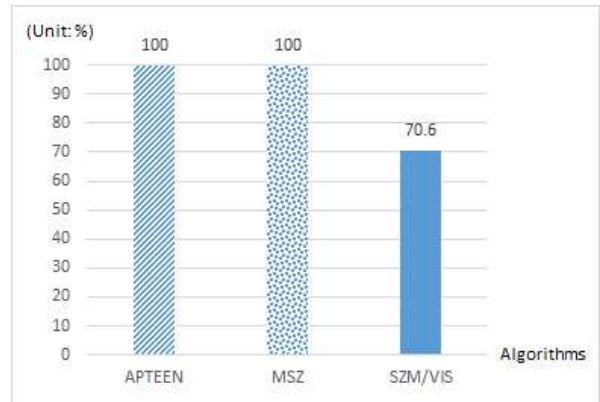


Fig. 3. Comparison of the sensing ratio for algorithms

그림 2와 그림 3을 통해 우리는 SZM/VIS가 간단한 몇 가지 파라미터들만을 사용하여 MSZ보다 센싱률을 상당히 줄일 수 있으며 전송률 또한 약간 개선할 수 있음을 볼 수 있다. 이렇게 센싱 횟수를 줄이면 센서의 동작에 따른 전력소비를 줄일 수 있으며 수집된 데이터의 전송을 판단하기 위한 프로세서의 부하를 줄일 수 있게 된다. 뿐만 아니라 전송 횟수도 줄어들게 되므로 전송에 의해 소비되는 전력을 줄이게 되므로 결국 센서 노드의 수명을 연장할 수 있게 된다.

그림 4에서는 T_{in} 값의 변화에 따라 SZM/VIS의 성능 차이가

얼마나 나는지를 살펴보았다. 그림 4에서 I_{max} 는 2분으로 고정 한 후 T_{in} 값을 10분에서 60분까지 변경해가며 MS Z/VIS의 전송률을 비교하였다. T_{in} 이 10분인 경우에 전송률이 2.65%에서 시작하여 T_{in} 이 커짐에 따라 전송률이 차차 줄어들게 되나 30분 이상에서는 낙폭이 작아짐을 볼 수 있다. 그러므로 주기적 전송을 결정하는 T_{in} 의 값을 30분 이내로 할 경우에는 노드의 상황을 확인할 수 있는 시간 간격이 늘어나는 대신 전송률 개선의 효과를 볼 수 있으나 그 이상에서는 전송률 개선의 효과가 크지 않다는 것을 알 수 있다.

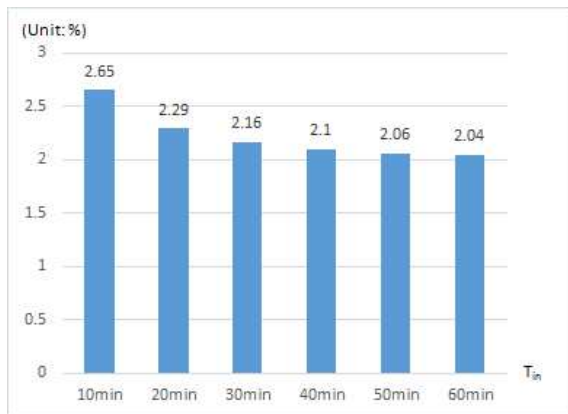


Fig. 4. Transmission ratio changes in SZM/VIS's T_{in} changes

SZM/VIS가 MSZ에 비해 가질 수 있는 단점으로는 가변 간격 센싱 정책에 따라 위험 존에서 센싱이 누락되는 경우가 발생할 수 있다는 점을 생각해 볼 수 있다. 즉 온도가 위험 존에 있을 경우에는 빠뜨리지 말고 센싱 하여야 온도가 적절히 관리될 수 있을 것이다. 하지만 계산된 I_{next} 가 만료되기 전에 온도가 급격히 변화하여 위험 존으로 진입할 경우에는 어쩔 수 없이 위험 존에서 센싱이 누락되어 환경 변화에 적절히 대처할 수 없는 상황이 발생할 수 있다.

이를 알아보기 위해 그림 5에서는 T_{in} 을 1시간으로 고정 한 후 I_{max} 값을 12초에서 1시간까지 변화해 가며 위험 존에서 센싱이 누락되는 비율을 조사하였다. I_{max} 값이 2분이 될 때까지는 위험 존에서 센싱이 누락되는 경우가 없으며 I_{max} 값이 30분이 되면 약 1.42%의 누락이 발생함을 알 수 있다. 그러므로 만약, 온도가 위험 존에 들어가더라도 짧은 기간 동안의 방치는 크게 문제가 되지 않는 덜 엄격한 관리를 필요로 하는 응용이라면 I_{max} 값을 30분까지 늘리더라도 위험 존에서의 센싱 누락률을 1% 대로 유지할 수 있음을 알 수 있다. 이것은 응용의 적용 분야에 따라 I_{max} 값을 올바르게 선택하면 부작용은 적절히 관리할 수 있음을 의미한다. 한편 그림 5의 결과는 센싱이 VIS 알고리즘에 의해 수행되므로 [10]에서의 결과와 같음을 알 수 있다.

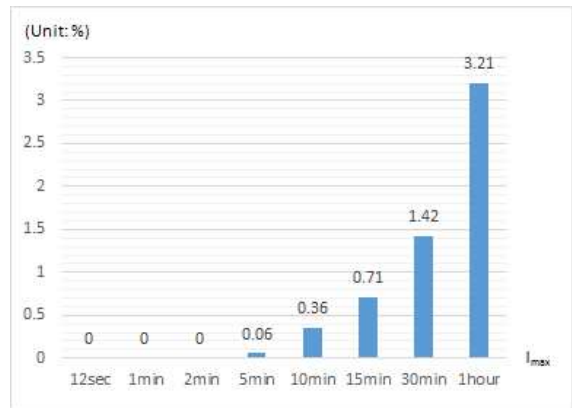


Fig. 5. Ratio of missing of sensing changes in the unsafe zone according to the SZM/VIS's I_{max} changes

우리가 제시한 SZM/VIS 알고리즘은 큰 오버헤드나 부작용 없이 센싱 횟수를 상당히 줄일 수 있음을 알 수 있으며 이는 센서와 프로세서의 동작에 따른 에너지 소비를 줄일 수 있음을 의미한다. 또한 전송 횟수 역시 줄여 전송에 따른 에너지 소비를 최소화 할 수 있음을 알 수 있다. SZM/VIS의 단점으로는 위험 존에서의 센싱이 누락됨에 따라 위험 존에서의 온도 관리가 어려워 질 수 있다는 점이나 이는 I_{max} 값을 너무 크게 하지만 않으면 위험 존에서의 센싱 누락률을 매우 낮게 유지할 수 있어서 별 문제가 되지 않음을 알 수 있다.

IV. Conclusions

센서 노드의 수명은 배터리 수명에 강한 의존성을 가지며 배터리 수명은 전송횟수와 밀접한 관련이 있다. 그러므로 센서 네트워크의 수명을 늘리기 위해서는 전송 횟수를 줄일 수 있는 방법이 고려되어야만 한다. 그러나 전송을 위해서는 연속적 혹은 주기적 센싱을 하여야 하므로 전송 횟수뿐만 아니라 센싱 횟수의 감소에 대한 방안도 마련되어야만 한다.

MSZ에서는 특정 속성이 일정한 범위 내에서 관리되어야 하는 응용에서 전송 횟수를 줄이기 위해 개발되었으며 VIS는 센싱 횟수를 줄이기 위해 고안되었다.

본 논문에서는 MSZ와 VIS를 결합한 SZM/VIS 알고리즘을 제안하였다. MSZ는 전송 대상을 선택하는데 관여하며 VIS는 센싱 시간을 결정하는데 관여하므로 이 둘을 결합할 경우 MSZ와 VIS의 장점을 모두 가질 수 있음을 알 수 있었다. 즉, SZM/VIS는 주기적 전송 기능을 가지면서 전송 효율 측면에서 단순 MSZ보다 조금 더 좋은 성능을 가지며 센싱 횟수 역시 VIS 만큼 줄일 수 있음을 알 수 있었다.

SZM/VIS의 성능을 평가하기 위해 실제 센서 노드를 사용하여 수집된 온도 데이터를 사용한 실험을 실시하였으며, 성능을 비교하기 위해 프로그램을 작성하여 알고리즘을 구현하였다.

비교 결과 제안한 SZM/VIS 알고리즘은 APTEEN 혹은 MSZ와 마찬가지로 주기적 전송 환경에도 적용 가능하여 센서 노드의 상황을 주기적으로 파악할 수 있는 능력을 가지면서도 센싱 횟수를 획기적으로 줄이고 전송 횟수 역시 줄여 에너지 효율을 높일 수 있음을 보여주고 있다. 아울러 위험 존에서 센싱을 못하게 되는 부작용은 큰 문제가 되지 않음을 알 수 있었다.

실험결과 제안한 알고리즘이 구체적으로는 위험 존에서 센싱이 누락되는 부작용 없이 MSZ에 비해 센싱을 약 70% 정도 줄일 수 있으며 전송은 약 0.01% 줄일 수 있음을 알 수 있었다.

SZM/VIS 알고리즘은 현재 측정값에 기초하여 바로 전송 여부와 다음 측정 시간을 결정할 수 있으므로 즉시성을 가지며, 몇 개의 파라미터만 사용하여 간단히 구현할 수 있으므로 단순하다는 장점을 가진다. 또한 알고리즘이 수행될 때 처음 한 번만 파라미터 값들이 설정되면 실행 시간에는 다른 요소들이 추가로 필요하지 않으므로 작은 오버헤드와 강건성을 가짐을 알 수 있다.

한편, SZM/VIS의 단점인 위험 존에서 센싱이 누락될 수 있다는 부작용은 응용의 적용 분야에 따라 I_{max} 값을 올바르게 선택하면 무시할 수 있을 정도로 적절히 관리할 수 있다.

우리가 제안한 SZM/VIS 알고리즘은 농작물 관리 등 특정 속성이 일정한 범위 내에서 관리되어야 하는 응용에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

REFERENCES

- [1] Gwan Joong Kim, Sun Jin Kim, Nae Soo Kim, Cheol Sik Pyo, "USN Service and Market Trend," Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers Vol. 25 No. 12, pp. 7-18, Dec., 2007.
- [2] Namhyun Yoo, et al., "Design and Implementation of the Management System of Cultivation and Tracking for Agricultural Products using USN," Journal of KIISE: Computing Practices and Letters, Vol 15. No. 9, pp. 661-674, 2009.
- [3] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Hankarasubramaniam and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, pp. 102-114, Aug., 2002.
- [4] Sanglae Kim, Junho Park, Dong-ook Seong, Jaesoo Yoo, "An Energy-Efficient Data Gathering Method Based on Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks," Journal of KISS: Information Networking, Vol 40. No. 1, pp. 36-43, 2013.
- [5] HyunChul Cha, "A Design of an Energy-Efficient Application Protocol for the Sensor Networks," Journal of Korea Industrial Information Systems Research, Vol. 19, No. 2, April, 2014.
- [6] A. Manjeshwar and D.P. Agarwal, "TEEN: a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks," Proc. of the 1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, San Francisco, CA, Apr., 2001.
- [7] A. Manjeshwar and D.P. Agarwal, "APTEEN: A hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless sensor networks," in the Proceedings of the 2nd International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile computing, pp. 195-202, Ft. Lauderdale, FL, April 2002.
- [8] Kemal Akkaya, Mohamed F. Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," Ad Hoc Networks Vol 3(3), pp. 325-349, 2005.
- [9] Jamal N. Al-Karaki, Ahmed E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey," IEEE Wireless Communications, Vol 11(6), pp. 6-28, Dec., 2004.
- [10] HyunChul Cha, "A Design of a Variable Interval Sensing Scheme for the Sensor Networks" Journal of the Korea Society of Computer and Information, Vol 20. No. 11, pp. 63-68, 2015.

Authors



Hyun-Chul Cha received the B.S. in Statistics, M.S. and Ph.D. degrees in Computer Engineering from Kyungpook National University, Korea, in 1988, 1993 and 1998, respectively.

Dr. Cha joined the faculty of the Department of Computer Engineering at Dongyang University, Youngju, Korea, in 1995. He is currently a Professor in the Department of Computer Information Warfare, Dongyang University. He is interested in IoT, sensor network and embedded systems.