

# A Design of a Variable Interval Sensing Scheme for the Sensor Networks

Hyun-Chul Cha \*

## Abstract

In this paper, we propose a new energy efficient scheme which can prolong the life of sensor networks, it should be able to reduce the number of sensing. We use the concept of safe zone for manage the appropriate range of properties. We measure the distance between the sensed temperature value and the center of the zone, and calculate the next sensing interval based on this distance. We name our proposed scheme "VIS". To assess the performance of the proposed scheme the actual temperature data was collected using the sensor node. The algorithm was implemented through the programming and was evaluated in a variety of settings. Experimental results show that the proposed algorithm is to significantly reduce the number of sensing in terms of energy efficiency while having the ability to know the state of the sensor nodes periodically. Our VIS algorithm can be useful in applications which will require the ability of control to the temperature within a proper range.

▶ Keyword : Sensor Networks, Network Lifetime, Energy-efficient, Number of sensing, VIS algorithm

## I. Introduction

USN(Ubiquitous Sensor Network)은 모든 사물에 컴퓨팅과 통신 능력을 부여해 언제, 어디서나, 어떠한 대상과도 의사소통이 가능한 지능형 컴퓨팅 환경을 구현하는 것이며, 유비쿼터스 사회의 근간이 된다. USN 응용 서비스 사례들을 살펴보면, u-헬스케어 분야, 재난·재해 방지 분야, 범죄 예방 분야, 환경 감시 분야, 군사 분야 등 그 활용분야는 무궁무진하다고 할 수 있다[1].

무선 센서 노드는 일반적으로 센서 필드에 산개되며 산개된 노드들은 각각 데이터를 수집하여 싱크 노드로 데이터를 보낼 수 있는 능력을 가진다. 대부분의 센서 네트워크 응용은 다량의 센서 노드를 설치하기 때문에 설치 후 다시 회수하기 위해서는 많은 시간과 비용이 필요하게 된다. 더구나 사람이 접근하기 어려운 지역에 설치한 경우에는 회수가 불가능하게 된다. 센서 네트워크를 구성하고 있는 센서 노드들은 자원이 제한된 하드웨어 및 저전력으로 동작해야하기 때문에, 노드의 전력소모 최소화 및 프로그램의 크기 등을 고려하여야만 한다[2,3].

센서 네트워크에서 에너지 효율을 높이려는 여러 가지 시도가 있어 왔다. 이러한 노력들은 물리계층, MAC 계층 및 라우팅 프로토콜 등의 개발 등에서의 다양한 시도들이라 할 수 있다. 이러한 연구들 중 일부는, 데이터 전송이 많은 에너지 소비를 요구하므로 전송 횟수를 줄이기 위한 방안의 개발이다. 그러나 데이터 전송을 위해서는 먼저 센싱이 선행되어야 하므로 데이터의 센싱 횟수를 줄일 수 있는 방안 또한 고려되어야 할 것이다. 즉, 전송 횟수뿐만 아니라 센싱 횟수 자체의 발생을 줄일 수 있다면 이는 하위의 라우팅 프로토콜과 MAC과 물리계층 모두의 전송 시도를 줄일 것이므로 불필요한 에너지 소비를 원천적으로 해소하는 방법이 될 것이다.

본 논문에서는 센서 노드의 수명에 매우 큰 영향을 미치는 데이터의 센싱 횟수를 줄여 효율적으로 에너지를 사용하며 이를 통해 센서 네트워크의 수명을 늘릴 수 있도록 하는 기법을 제안한다.

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

• 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: 2015. 09. 07, Revised: 2015. 10. 01, Accepted: 2015. 10. 29.  
• This work was supported by Dongyang Univ. Research Grant.

기술한다. 그리고 마지막으로 4장에서 결론을 기술한다.

## II. The Proposed Scheme

### 1. The related works and the need for research

센서 네트워크는 많은 응용 분야를 가지고 있으며 본 논문에서는 특정 속성이 일정한 범위 내에서 관리되어야 하는 응용 분야를 대상으로 한다. 이러한 응용분야의 대표적인 경우로 비닐하우스에서 농작물 등을 재배하는 경우를 가정해 볼 수 있다. 농작물의 생장과 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 온, 습도를 적정 수준 이내로 떨어뜨릴 수 있다. 반대로, 지나치게 낮다면 난방장치나 가습장치 등을 작동시켜 역시 온, 습도를 적정 수준 범위 내에 있도록 할 수 있을 것이다. 가축들의 축사 관리 역시 같은 방법으로 온, 습도 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.

이러한 응용 환경에 센서 네트워크를 사용한다고 가정 할 때, 가장 간단한 응용 프로토콜로는 센서 노드가 일정 시간 간격의 주기로 온도나 습도와 같은 속성 값을 센싱 하여 이를 전송하는 방식을 사용할 수 있다. 그러나 이 방법은 주기가 짧을 경우 많은 데이터의 전송을 야기하여 네트워크 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 방법이 될 것이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 TEEN[4]이나 APTEEN[5]에서 사용하는 방식이나 이를 개선한 MSZ[6] 알고리즘 등이 제시 되었다. TEEN은 임계치를 사용하여 노드가 센싱한 속성 값이 관심 영역에 들어갔을 때에만 전송할 수 있도록 해줌으로써 전송 횟수를 상당히 줄일 수 있게 해 준다. 또한, 센싱한 속성 값에 변화가 없거나 혹은 거의 차이가 나지 않는다면, 전송하지 않도록 하므로 더 더욱 전송 횟수를 줄일 수 있게 한다 [4]. 하지만 TEEN은 센싱한 속성 값이 임계치에 미치지 못할 경우 사용자는 데이터를 전혀 얻을 수 없으므로 주기적인 보고가 필요한 응용 등에서는 적합하지 않다. 아울러, 설사 노드가 어떠한 이유에서 동작을 중지했다 하더라도 그 사실을 알 수 없다. 또한, 만약 노드들이 임계치 값들을 수신하지 못하면 통

신을 할 수 없으며 사용자는 네트워크로부터 어떤 데이터도 받을 수 없게 되는 문제점을 가진다[7,8]. APTEEN은 TEEN의 확장판으로 주기적 전송을 사용함으로써 주기적 데이터 모니터링과 같은 응용에도 사용될 수 있도록 TEEN을 수정하였다[5]. APTEEN은 TEEN에 비해 에너지 효율이 상대적으로 떨어진다 는 점과 임계치 함수 등을 구현하는데 따르는 부가적인 복잡성 등이 단점이라고 할 수 있다[7,8]. [6]에서는 특정 속성이 일정 범위 내에서 관리되어야 하는 응용에서 사용하기 위해 존(zone)이라는 개념[9]을 도입하고 몇 가지 임계치를 적용하여, 주기적 전송 기능을 가지면서 APTEEN보다 전송효율 측면에서 더 좋은 성능을 보여주는 MSZ 알고리즘을 제안하였다.

위에서 살펴본 TEEN, APTEEN, MSZ는 모두 센서 네트워크의 수명을 늘리기 위해 전송 횟수를 줄이는데 초점을 맞춘 방법들 이라 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 만족하지 않는 경우에는 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 에너지가 낭비될 수 있다는 것을 뜻한다. 그러므로 본 논문에서는 센싱 횟수 자체를 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 개념[6,9]을 사용한다. 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 칭하기로 한다. 존 영역의 구분을 위해 존 상한 임계치  $Z_{hi}$ 와 존 하한 임계치  $Z_{low}$ 를 정의하며,  $Z_{hi}$ 와  $Z_{low}$  간의 중앙 값을  $Z_{mid}$ 라고 정의한다.  $Z_{mid}$ 은 식 (1)과 같이 계산할 수 있다.

$$Z_{mid} = (Z_{hi} + Z_{low})/2 \quad (1)$$

임의의 측정 온도 값( $V_c$ )이 아래의 식 (2)와 같이 이들 존 임계치들 사이에 있을 때를 안전 존 영역에, 그 외의 경우를 위험 존 영역에 위치한다고 부르기로 한다.

$$\begin{aligned} \text{안전 존} : Z_{low} \leq \text{측정값}(V_c) \leq Z_{hi} \\ \text{위험 존} : V_c < Z_{low} \text{ or } V_c > Z_{hi} \end{aligned} \quad (2)$$

그림 1을 통해 본 논문에서 제안하는 가변간격 센싱 기법의 개념을 설명한다. 그림 1에서 x축은 시간, y축은 온도를 나타내며, 점으로 표시되는 10개의 온도를 센싱 한다고 가정해 보자.

여기에서 3개의 지점 a, b, c를 고려해 보자. 먼저, a는 현재 안전존에 위치하고 있으며  $Z_{mid}$  근처에 있음을 볼 수 있다. 이

것은 현재 온도가 관리 범위 내에 있으며 온도는 점진적으로 변화하므로 앞으로 당분간은 안전존에서 벗어날 일이 없다고 볼 수 있다. b는 현재는 안전존 안에 위치하고 있으나  $Z_{low}$ (혹은  $Z_{hi}$ 인 경우도 마찬가지로) 근처에 위치하고 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 온도가 가까운 시간 내에 안전존에서 벗어날 수도 있음을 의미한다. 한편, c는 현재 위험존에 위치하고 있으므로 온도가 안전존 안쪽으로 들어갈 때 까지 계속해서 관찰하고 관리하여야 함을 의미한다. 이 세 지점의 측정값으로부터 우리는 다음과 같은 사실을 정리해 볼 수 있다. 즉 현재 측정값이 안전존 안에 있고  $Z_{mid}$  근처에 있다면 긴 다음 센싱 간격을 가져도 되며,  $Z_{mid}$ 로부터의 거리가 멀어질수록 더 짧은 다음 센싱 간격을 가져야한다. 또한, 현재 측정값이 위험존 안에 위치한 경우에는 연속적이거나 매우 짧은 간격으로 센싱 하여야 한다는 점을 알 수 있다. 물론, 이렇게 센싱된 측정값들은 다른 판단 기준에 따라 전송될 것 인지 아닌지를 결정할 수 있다.

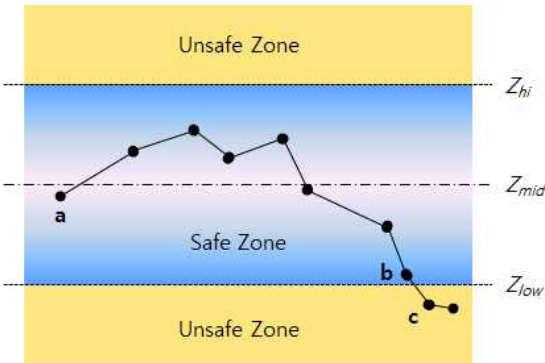


Fig. 1. Relationship between zone and sensing interval

그러므로 본 논문에서는 현재의 측정값을 기초하여 다음 센싱 간격을 결정하며, 다음 센싱 간격을 결정함에 있어 현재 측정값( $V_c$ )이  $Z_{mid}$ 로부터 떨어진 거리를 구한 후 이 거리에 기초하여 다음 센싱 간격을 결정하게 된다. 즉, 현재 측정값이  $Z_{mid}$ 로부터 가까울수록 긴 다음 센싱 간격을 가지고  $Z_{mid}$ 로부터 멀수록 짧은 다음 센싱 간격을 갖게 함으로써 불필요한 센싱 횟수를 줄여 에너지 소비를 최소화 하고자 한다.

이를 수식으로 표현하면 다음과 같다. 먼저, 현재 측정값( $V_c$ )의 존 중심으로 부터의 거리(distance:  $d$ )는 다음 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$d = |Z_{mid} - V_c| \quad (3)$$

현재 측정값에 의해 계산되는 다음 센싱 간격(next interval:  $I_{next}$ )는 최대 간격( $I_{max}$ ) 과 최소 간격( $I_{min}$ )의 제한이 있으며 다음 식 (4)와 같이 계산 할 수 있다.

$$I_{next} = I_{max} - f(d) \cdot \frac{I_{max}}{f_{max}} \quad (4)$$

식 (4)에서  $f(d)$ 는 거리  $d$ 로부터 다음 센싱 간격을 계산하기 위한 거리-시간 변환함수로서 식 (5)에서 설명한다. 또한,  $f_{max}$ 는  $f(d)$ 의 최댓값을 의미하는 상수이고,  $I_{max} \geq I_{next} \geq I_{min}$ 의 관계를 갖는다.

다음으로 거리  $d$ 에 따라 시간 값을 계산하는 거리-시간 변환함수에 대해 살펴본다. 우리는 본 논문에서 거리로부터 시간을 계산하는 함수로 식 (5)와 같은 세 가지 함수를 고안하였다.

$$f(d) = \begin{cases} d \times \frac{f_{max}}{d_{max}} & (5-1) \end{cases}$$

$$f(d) = \begin{cases} d^2 & (5-2) \end{cases}$$

$$f(d) = \begin{cases} (d \times 1000)^{0.5} & (5-3) \end{cases}$$

먼저 식 (5-1)은 그림 2에서 실선으로 표시되는 선형(linear) 함수이며 간단하게 거리로부터 선형적으로 비례하여 시간을 계산하는 함수를 보여주고 있다. 이 식에서  $f_{max}$ 는  $f(d)$ 함수가 가질 수 있는 최댓값을 의미하며  $d_{max}$ 는 거리( $d$ )가 가질 수 있는 최댓값을 의미한다.

선형 함수 외에 두 가지 지수 함수를 더 사용한다. 모양에 따라 각각 식 (5-2)는 볼록하므로 D형, 식 (5-3)은 오목하므로 C형이라 부르기로 하며 함수의 형태는 그림 2에서 볼 수 있다.

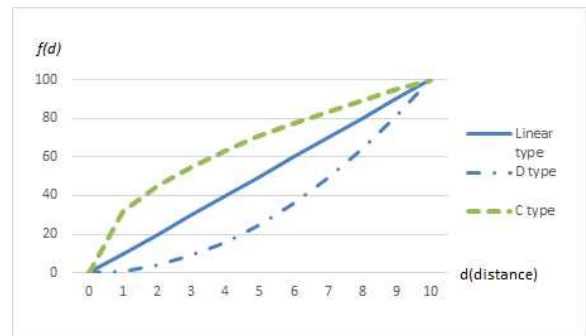


Fig. 2. Distance-time conversion functions

본 논문에서 제시하는 기법은 현재 측정값이 존 중앙값으로부터 떨어진 거리에 따라 서로 다른 다음 센싱 간격을 가지게 되므로 가변 간격 센싱 알고리즘(VIS: Variable Interval Sensing Algorithm)이라 부르기로 하며 알고리즘의 상세는 다음과 같다.

- (1) 노드는 센싱한다.
- (2) 센싱한 속성의 값( $V_c$ )이 안전 존 영역인지 위험 존 영

역인지를 판단한다.

- $V_c$ 가 위험 존 영역에 위치하면  $I_{next} = I_{min}$
- $V_c$ 가 안전 존 영역에 위치하면 식 (4)에 의해  $I_{next}$ 를 계산한다.

(3)  $I_{next}$  시간만큼 기다린 후 단계 (1)로 간다.

센싱값이 안전 존 영역에 있을 때에는 온도가 안전하게 관리되고 있으므로 가끔씩 온도의 변화 추이나 노드의 작동 여부만 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 만족시킬 수 있도록 현재 측정값을 기반으로 하여 다음 센싱 간격을 결정할 수 있도록 설계되었다.

### III. The Experimental Results

제한한 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 1과 같다.

Table 1. 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 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 제한한 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 2와 같다.

Table 2. Environment values used in algorithm implementation

$Z_{hi}$	$Z_{low}$	$Z_{mid}$	$d_{max}$	$I_{max}$	$I_{min}$	$f_{max}$
25°C	5°C	15°C	10	Variable	12sec.	100

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. 계산되는 센싱 간격의 최솟값( $I_{min}$ )은 기본 데이터가 매 12초 간격으로 측정하였다고 하였으므로 12초가 되며 최댓값인  $I_{max}$ 는 그 값을 변화해 가면서 성능을 측정하였다. 또한 식 (4)에서 사용한 거리-시간 변환함수는 식 (5-1)의 선형 비례함수를 사용하였으며 이 변환함수가 가질 수 있는 최댓값( $f_{max}$ )은 100으로 설정하였다.

또한, 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.

안전존에서는 온도가 적절히 조절되고 있는 상황이므로 센싱의 횟수를 줄일수록 에너지를 절약할 수 있다. 또한 위험존에서는 반드시 온도가 파악되고 관리되어야 하므로 온도 값이 빠짐없이 센싱 되어야만 필요할 경우 전송될 수 있을 것이다. 그러므로 우리는 먼저, 안전존에서의 센싱 횟수를 얼마나 줄일 수 있는지와 위험존에서 센싱이 얼마나 누락되는지를 구분하여 살펴보기로 한다.

아래 그림 3은 최대 전송 간격인  $I_{max}$  값을 최소 12초에서 최대 1시간까지 변경해 가면서 안전존에서의 센싱율을 조사하였다. 기본 데이터가 매 12초 간격으로 데이터를 센싱 하였고 하였으므로 상대적 성능을 비교하기 위해 우리는 매 12초 간격으로 센싱한 경우의 전체 안전존 센싱 횟수(20,732회)를 기준으로 하여 상대적 센싱 횟수를 비교하였다.

먼저  $I_{max} = I_{min} = 12$ 초인 경우는 노드가 매 12초의 고정 간격으로 센싱 하게 되며 이 경우에는 기초 데이터의 모든 데이터를 센싱 하게 되므로 안전존에서의 센싱율을 100%가 된다. 이러한 센싱 방법이 TEEN, APTEN 및 MSZ 등의 기존 방식에서의 센싱이라고 볼 수 있다.

그림3에서  $I_{max}$ 를 5배 간격인 1분으로 하였을 때 센싱율은 46.26%로 줄어들음을 볼 수 있다. 즉 안전존에 위치한 기본 데이터중 약 54%는 센싱 하지 않을 수 있음을 의미한다. 마찬가지로 5분인 경우에는 14.84%로,  $I_{max}$ 가 1시간이면 센싱율은 전체 데이터의 1.92%로 줄어들음을 알 수 있다.

그림 3을 통해 최대 센싱 간격인  $I_{max}$  가 커질수록 다음 센싱 간격의 평균값이 커질 것 이므로 센싱을 적게 할 수 있어 센서와 측정값의 처리를 위한 프로세서 및 송수신기의 에너지 소비를 줄일 수 있음을 알 수 있다.

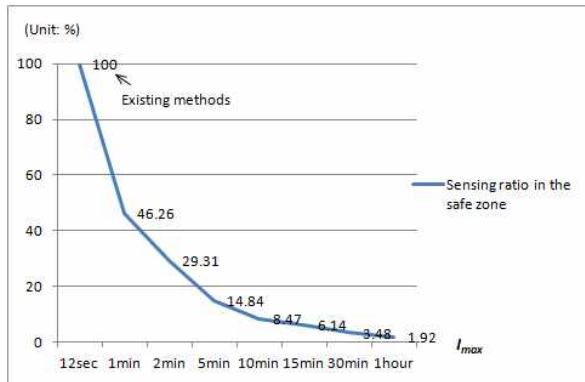


Fig. 3. Sensing ratio changes in the safe zone according to the changes in the  $I_{max}$

다음으로 우리가 제안한 방식의 부작용에 대해 검토해 보기로 하자. 이러한 부작용으로는 위험존에서의 센싱 누락율을 생각해 볼 수 있다. 식 (4)에 의해 계산되는  $I_{next}$  값은 미래 예측 값의 의미를 가지며  $I_{max}$ 에 비례하고  $c$ 에 반비례하게 된다. 이 예측이 틀리는 경우가 위험존에서의 센싱이 누락되는 상황이라고 할 수 있다. 온도가 위험존에 있을 경우에는 빠뜨리지 말고 센싱 하여야 온도가 적절히 관리될 수 있을 것이다. 그러나  $I_{next}$ 가 만료되기 전에 실제 온도가 위험존으로 진입할 경우에는 필연적으로 위험존에서 센싱이 누락되는 상황이 발생하게 될 것 이며 적절히 관리되기 힘든 상황이 될 것 이다.

그림 4는 그림 3과 동일한 환경과 조건에서  $I_{max}$  값이 변할 때 위험존에서 센싱이 누락되는 비율을 보여준다.

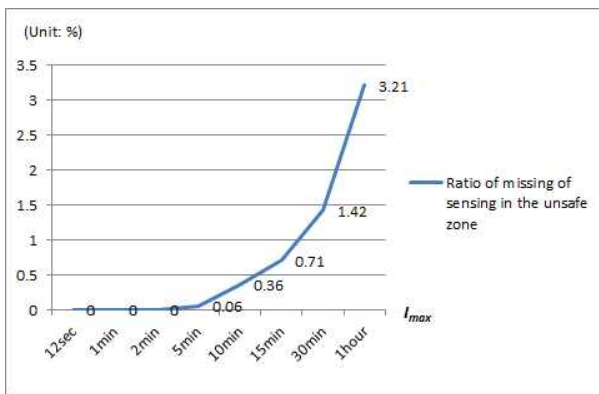


Fig. 4. Ratio of missing of sensing changes in the unsafe zone according to the changes in the  $I_{max}$

이 그림에서 볼 수 있는 것처럼,  $I_{max}$ 가 2분이 될 때까지는 위험존에서 센싱이 누락되는 경우가 발생하지 않는 것을 볼 수 있으며 5분이 되면 0.06%의 누락이 발생함을 알 수 있다. 누락율은  $I_{max}$  값이 커짐에 따라 차차 커져  $I_{max}$ 가 1시간이 되면 3.21%의 자료가 센싱 되지 못하고 누락됨을 알 수 있다.

그림 3과 그림 4를 통해 본 논문에서 제안한 가변 간격 센싱 기법을 사용할 경우 최대 센싱 간격을 2분까지 늘리더라도 위험존에서의 센싱을 놓치는 부작용 없이 안전존에서의 센싱을

약 70%까지 줄일 수 있음을 알 수 있다. 만약, 온도가 위험존에 들어가더라도 짧은 기간 동안의 방치는 크게 문제가 되지 않는 덜 엄격한 관리를 필요로 하는 응용이라면  $I_{max}$ 값을 15분까지 늘리더라도 위험존에서의 센싱 누락율은 1% 이하로 유지하면서 안전존에서의 센싱율은 약 94%까지 줄일 수 있음을 알 수 있다.

그러므로 우리가 제시한 VIS 알고리즘은 부작용 없이 혹은 선택적으로 아주 작은 부작용만을 가진 채 센싱 횟수를 획기적으로 줄일 수 있음을 알 수 있다.

다음으로 식(5)에서 제시한 세 가지 거리-시간 변환 함수를 사용하였을 때의 성능이 어떻게 변화하는지를 비교해 보았다.

그림 5에서는 함수의 종류에 따라 안전존에서의 센싱율과 위험존에서의 센싱누락율을 비교하였다. 이 그림에서  $I_{max}$  값은 모두 10분으로 고정하였으며 좌측부터 선형함수, D형 함수, C형 함수의 결과를 보여준다. 좌측의 선형함수에 비해 D형 함수를 사용할 경우 안전존 센싱율은 줄어드나 위험존에서의 센싱 누락율은 늘어남을 알 수 있으며 C형 함수는 반대로 선형 함수에 비해 안전존 센싱율을 늘어나나 위험존 센싱누락율은 줄어드는 특징을 보여줌을 알 수 있다. 그러므로 사용하고자 하는 응용의 특성에 맞춰 함수의 형태를 선택할 수 있을 것이다. 즉, 네트워크 수명이 중요시 되는 응용에서는 D형 함수를, 엄격한 속성 관리가 요구되는 응용에서는 C형 함수를 사용할 수 있으며 일반적으로는 선형함수를 선택하면 될 것이다.

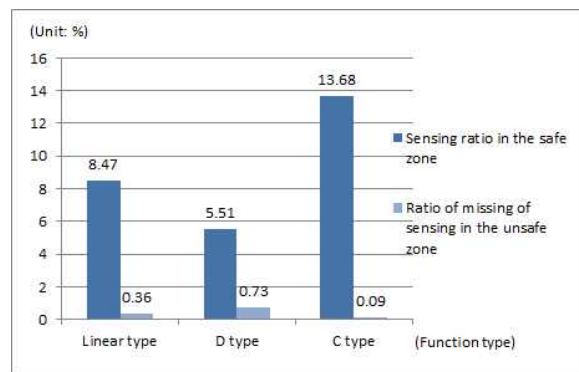


Fig. 5. Performance variations according to the changes in the type of function

#### 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. 그러므로 센싱 횟수를 줄일 수 있는 알고리즘의 연구가 반드시 필요하다 하겠

다. 특히 농작물 관리 등의 응용에서는 속성이 적정한 범위 내에서 관리되어야 하며 이런 환경을 위한 기법이 필요하다고 하겠다.

본 논문에서는 이런 문제를 해결하기 위해 센서 네트워크에서 사용할 수 있는 가변 간격 센싱 기법을 제안하였다. 속성을 적정 범위 내에서 관리하기 위해 존이라는 개념을 사용하였으며, 이전 측정값이 위험 존에 위치하였을 때에는 센싱 횟수를 늘리고 안전 존 내에 있을 때에는 존 중앙값과의 거리를 구한 후 거리에 기초한 다음 센싱 간격을 구할 수 있도록 하였다. 이를 통해 센서노드의 작동여부나 주기적 상황 파악은 가능하면서도 안전존에서의 센싱 횟수를 줄일 수 있도록 하였다.

성능 평가를 위해 실제 센서노드를 사용하여 수집된 온도 데이터를 사용하였으며, 성능을 비교하기 위해 프로그램을 작성하여 알고리즘을 구현하였다. 비교 결과 제안한 VIS 알고리즘은 APTEEN 혹은 MSZ와 마찬가지로 주기적 전송 환경에도 적용 가능하여 센서노드의 상황을 주기적으로 파악할 수 있는 능력을 가지면서도 센싱 횟수를 획기적으로 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 기존 방법에 비해 센싱을 약 70% 정도 줄일 수 있으며, 위험존에서 1% 이하의 센싱이 누락되는 부작용을 감수한다면 센싱을 약 94%까지도 줄일 수 있음을 알 수 있었다.

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

본 논문에서 제안한 VIS 알고리즘은 센싱 횟수를 줄이기 위한 방안이므로 이렇게 센싱한 속성 값들을 다시 전송 횟수를 줄일 수 있는 기존의 알고리즘들과 같이 사용할 수도 있을 것이다. 향후 연구를 통해 VIS 기능을 가진 MSZ 알고리즘 등과 같이 센싱 횟수와 전송 횟수를 모두 줄일 수 있는 알고리즘을 개발하고 실험적 성능평가를 해 나갈 것 이다.

## REFERENCE

- [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] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Hankarasubramaniam and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, pp. 102-114, Aug., 2002.
- [3] Sang Joon Park, Young Bag Moon, Jongjun Park, "Sensor Network Simulation," Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers Vol. 25 No. 12, pp. 74-82, Dec., 2007.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Kemal Akkaya, Mohamed F. Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," Ad Hoc Networks Vol 3(3), pp. 325-349, 2005.
- [8] 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.
- [9] Silberschatz, Galvin, Gagne, "Operating System Concepts with java," 7<sup>th</sup> ed., Jone Wiley & Sons INC., pp. 287-288, 2007.

## 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 and sensor network.