

무게 중심점을 이용한 센서 네트워크에서의 화재 이동경로 찾기 알고리즘

조승철*, 유 정*, 장범석*, 하영국*
*건국대학교 컴퓨터공학부
e-mail: cschol@cclab.konkuk.ac.kr

Fire movement path prediction algorithm in sensor network using center of gravity

Sung-Chol Cho*, Liu Jing*, Bum-Suk Jang*, Young-Guk Ha*
*Dept. of Computer Science and Engineering, Konkuk University

요 약

센서의 특징은 사람이 측정하기 힘든 지역이나 장시간 측정해야 할 지역의 정보를 수집하기에 효과적이다. 이런 센서의 특징은 산불지역의 예방 및 방재에 사용하기에 알맞다. 산불 감시는 광범위한 지역 및 장시간을 감시해야 하는 특징을 갖고 있다. 산불감시의 특징과 센서의 특징은 어떻게 보면 같은 특징을 갖는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 센서들 간의 네트워크를 구축하여 서로의 정보를 교환하여 산불의 발화점 및 앞으로 산불이 일어날 지역을 예측을 통하여 초기 진압에 대한 센서 네트워크 구조를 제시한다.

1. 서론

산불은 보통 건물의 화재와 다른 특징을 갖고 있다. 첫째는 넓은 범위에서 일어난다는 점, 둘째는 주변 환경의 영향을 많이 받는다는 점, 셋째는 짧은 시간에 많은 피해가 있다는 점에서 보통의 화재와 성격이 다르다. 이런 산불 특징 때문에 현재 산불의 감시 및 진화에 어려움이 있다. 한 번의 산불이 건물의 화재보다 많은 피해를 주는 이유가 여기 있으며 다른 화재들보다 중요성이 높아 가는 이유도 여기 있다. 이처럼 많은 피해를 주는 산불도 초기에 진화하거나 큰 화재로 발전하기 전에 막는다면 보통의 건물 화재보다 쉬운 진화를 할 수 있는 특징을 갖고 있다. 산불의 초기 진화를 하기 위해서는 산불의 감시 하는 것부터 시작된다. 산불의 감시는 많은 시간 동안 사람이 들어갈 수 없는 지형에서도 감시가 필요하다. 그래서 사람이 직접 감시하기에는 많은 문제점이 있다. 하지만 센서의 특징을 알게 되면 이런 문제점은 해결 될 수 있다. 센서의 기본적 특징은 사람이 측정하기 힘든 지형이나 장시간 정보를 수집해야 하는 지역에서 센서들이 스스로 네트워크를 구성하여 정보 측정하여 사용자에게 정보를 전달하는 역할을 하는 것을 말한다.

이런 특징들만 본다면 산불의 감시에 필요한 특징과 센서의 특징은 많은 점이 비슷하다. 다시 말해 산불감시에 센서 네트워크를 사용하는 것이 효과적이라고 볼 수 있다.

본 논문에서는 센서 네트워크를 이용하여 센서들 간의 정보 교환으로 산불 감시와 산불이 일어날 경우 산불의 발화점 및 진행방향을 정확히 예측 하고 산불의 피해를

줄일 수 있는 것을 목적으로 하고 있다. 이를 위하여 산불 화재에 맞는 센서 네트워크의 클러스터 구조를 제안 한다. 또한 기존의 클러스터 구조는 산불 감시 시스템에 적용하기에 많은 문제점이 있다. 기존의 클러스터 구조는 데이터를 측정하고 전달하기에 알맞다. 하지만 실시간으로 데이터를 전달하기에는 구조적 문제점 있다. 그러나 화재 감시는 실시간 정보전달 및 제어가 중요하기 때문에 기존의 클러스터 구조로 설계하기에는 문제가 있다. 본 논문에서는 방재에 맞는 실시간 성과 센서들의 정보교환으로 화재의 발화점 및 진행방향을 정확히 측정하여 사용자에게 전달하여 산불의 조기 진화 및 감시를 하는 것을 목적으로 한다.

2. 방재를 위한 센서 네트워크 구조

본 논문에서는 클러스터 구조를 갖는 센서 네트워크를 기본으로 하고 있으며 방재에 맞는 향상된 클러스터 구조를 제안한다. 클러스터 구조의 장점은 정보를 수집하고 전달하기에 가장 효율적이다. 하지만 데이터를 실시간으로 전달하고 이동하는 물체를 감지하기에는 효율성이 떨어진 다. 클러스터 안의 측정 센서는 자신의 데이터를 측정하여 클러스터 헤더에게 전달한다. 전달 받은 클러스터 헤더는 정보를 이용하여 비교 판단 또는 Sink에게 전달한다. 이

1) “본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음” (NIPA-2010-C1090-1031-0003)

처럼 자신이 정보를 갖고 있음에도 불구하고 판단하지 않고 정보를 전달하여 상위 계층에서 판단 하는 구조를 클러스터 구조라 할 수 있다. 스스로 판단하지 않고 의존적인 판단은 재해와 같은 실시간 정보를 활용하여 대처하는데 비효율적이다.

실시간 정보 활용을 하기 위해서는 각 계층이 서로 맞는 정보를 수집하고 비교 판단한다면 효과적으로 실시간 정보를 처리하기에 알맞다. 화재 정보와 같은 실시간 정보 처리 구조를 위하여 그림 1 와 같이 구성한다. 구성요소는 크게 3가지로 나누어 볼 수 있다. 첫째는 클러스터 내의 화재 데이터를 측정하는 센서 둘째는 클러스터 내의 센서들의 정보를 수집하여 비교 판단하는 클러스터 헤더 셋째는 클러스터 헤더의 정보를 수집하는 Sink로 나누어 볼 수 있다.

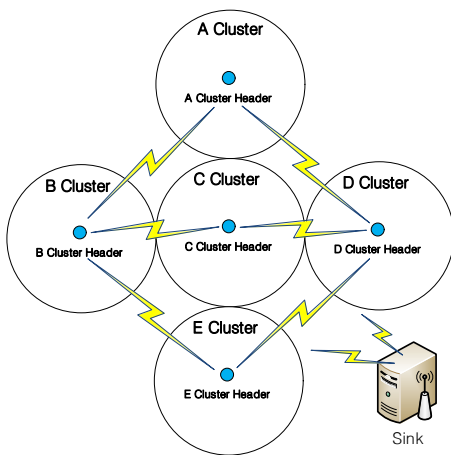


그림 1. 실시간 화재 정보를 처리하기 위한 센서네트워크 구조

또한 화재의 특성상 실시간성을 요구하기 때문에 정보를 조합하고 판단하는 과정이 다른 구조 보다 빨라야 한다. 그러기 때문에 센서 및 클러스터헤더는 정보 수집과 판단이 같이 일어나야 한다. 이를 위하여 본 논문에서는 센서의 측정 시간을 온도의 변화에 따라 비교 판단하여 자동적으로 조절함으로써 클러스터 헤더와의 정보 교환 횟수를 줄이 효과가 있다. 또한 클러스터 헤더는 다른 클러스터 헤더로부터 정보를 받아 비교 판단하여 자신의 클러스터가 주변의 화재에 얼마큼 영향을 받을 수 있는지도 알 수 있다. 이런 정보를 통하여 최초 발화점을 찾고 이에 따른 불의 진행 방향을 찾게 되면 불의 진화에 큰 도움을 줄 수 있다.

3. FMP(Fire Monitoring Point)를 이용한 발화점 찾기 알고리즘

본 논문에서는 센서의 제안된 메모리와 처리 양을 고려하여 불의 대표적인 특성인 온도를 기반으로 스스로 비교 판단하는 센서를 제안한다. 화재 센서가 자신이 불을 감지했다고 알 수 있는 것은 온도의 변화 양으로 판단하는 것

이 가장 정확하다. 불이 났을 경우 주위의 온도가 올라가는 것을 볼 수 있다. 따라서 불이 나지 않을 경우 온도의 변화양은 없을 것이며 불이 감지했다면 변화양은 클 것이다. 이런 변화양의 차이를 통하여 센서가 불을 감지하고 최초 불이 났을 위치를 찾아낼 있다.

2.1 화재 감지를 위한 지능적 센서

센서가 화재를 감지 할 수 있는 조건은 많다. 그 중에서 가장 정확한 것은 급격하게 변화는 온도가 가장 정확할 것이다. 화재 센서가 변화한 양을 구하기 위해서 이전의 온도 측정 값(\acute{a})과 현재 온도 측정 값(\acute{e})를 빼면 현재 변화한 양(f)을 구할 수 있다. 수식 1은 온도의 변화한 양을 구하는 수식이다.

$$\text{수식 1. } \acute{a} - \acute{e} = f$$

변화한 양(f)을 측정주기 시간 값(\acute{t})으로 나누게 되면 좀 더 자세한 온도 변화한 양을 구할 수 있다. 수식 2는 변화한 양을 자세하게 구하는 수식이다. 수식에 의하여 자세한 변화한 양(β)을 구할 수 있다.

$$\text{수식 2. } f/\acute{t} = \beta$$

자세한 온도 변화한 양의 값(β)는 시간당 변화한 양이다. 여기서 (β)는 온도가 변화한 양이기 때문에 다음 측정 시간에 반영하기 위해서는 온도의 값을 시간의 값으로 바꾸어야 한다. 온도를 시간으로 바꾸기 위해서는 시간 변환 변수(k)를 곱한다. 그러므로 시간 변환 변수(k)을 곱하여 수식 3과 같이 온도의 변화한 양에 의한 시간 값이 나오게 된다. 이 값을 시간 값(p)로 정의한다.

$$\text{수식 3. } \beta \times k = p$$

수식 3의 값(p)은 변화한 양에 해당하는 시간 값이기 때문에 센서의 현재 측정 주기 값($n\acute{t}$) 빼주면 수식 4와 같이 다음 센서의 측정 주기 시간 값(s)이 나오게 된다.

$$\text{수식 4. } n\acute{t} - p = s$$

p 의 값이 커지게 되면 다음 측정 주기가 짧아진다. s 의 값이 0이 될 때 센서는 다음 측정 시간이 없으므로 클러스터 헤더에게 경고 메시지와 자신의 온도 값을 전달하게 된다. s 가 0 이하일 경우 센서는 계속 측정을 하게 되며 s 가 0이상으로 올라갈 경우 그때 다음 측정시간을 정하게 된다.

3.3 화재 감지를 위한 지능적 센서의 수학적 측정

그림 2는 수식 4를 적용한 결과 값이다. 그림 2에서 보듯이 이전 온도 1° 이고 현재 온도가 2° 경우 변화 양은 1° 이다. 이를 수식에 대입하면 다음 측정 시간은 58.33초이다. 온도 변화의 차이가 높아지면 측정 시간의 값이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 0이 될 경우 그때 센서가 화재를 감지하고 클러스터 헤더에게 정보를 전달하게 된다. 그림 3에서의 그래프는 그림2를 그래프로 표현한 것이다. 그림 3에서 보듯이 마이너스 값이 측정 되면 측정 센서는 자신이 불을 감지했다고 인식하고 클러스터 헤더에게 알리게

된다. 하지만 센서가 마이너스 값에서 다시 플러스 값으로 변화하면 센서는 불이 진화한 것으로 생각하고 수식 4를 이용하여 다음 측정시간을 선택한다.

| a | e | i | p | nt | s |
|---|----|----|-----|----|----------|
| 1 | 2 | 60 | 100 | 60 | 58.33333 |
| 1 | 3 | 60 | 100 | 60 | 56.66667 |
| 1 | 4 | 60 | 100 | 60 | 55 |
| 1 | 5 | 60 | 100 | 60 | 53.33333 |
| 1 | 6 | 60 | 100 | 60 | 51.66667 |
| 1 | 7 | 60 | 100 | 60 | 50 |
| 1 | 8 | 60 | 100 | 60 | 48.33333 |
| 1 | 9 | 60 | 100 | 60 | 46.66667 |
| 1 | 10 | 60 | 100 | 60 | 45 |
| 1 | 11 | 60 | 100 | 60 | 43.33333 |
| 1 | 12 | 60 | 100 | 60 | 41.66667 |
| 1 | 13 | 60 | 100 | 60 | 40 |
| 1 | 14 | 60 | 100 | 60 | 38.33333 |
| 1 | 15 | 60 | 100 | 60 | 36.66667 |
| 1 | 16 | 60 | 100 | 60 | 35 |
| 1 | 17 | 60 | 100 | 60 | 33.33333 |
| 1 | 18 | 60 | 100 | 60 | 31.66667 |
| 1 | 19 | 60 | 100 | 60 | 30 |
| 1 | 20 | 60 | 100 | 60 | 28.33333 |
| 1 | 21 | 60 | 100 | 60 | 26.66667 |
| 1 | 22 | 60 | 100 | 60 | 25 |
| 1 | 23 | 60 | 100 | 60 | 23.33333 |
| 1 | 24 | 60 | 100 | 60 | 21.66667 |
| 1 | 25 | 60 | 100 | 60 | 20 |
| 1 | 26 | 60 | 100 | 60 | 18.33333 |
| 1 | 27 | 60 | 100 | 60 | 16.66667 |
| 1 | 28 | 60 | 100 | 60 | 15 |

그림 2. 측정 환경에 따른 휴면센서 시간표

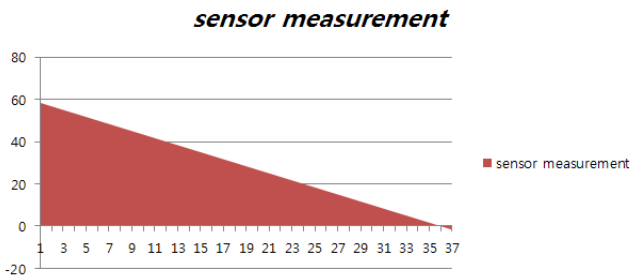


그림 3. 수학적 지능형 센서 휴면시간 그래프

4. 삼각형 무게중심을 이용한 발화점 찾기 알고리즘

발화점이란 불이 처음 발생한 지역을 말한다. 센서에서의 정확한 발화점을 찾기란 매우 힘들다. 우선 센서의 정보 중 처음 감지된 센서의 위치를 발화점이라 한다면 오류가 생길 많이 생길 것이다. 불의 특성상 어느 한 점에서 불이 발생하는 것이 아닌 여러 곳에서 불이 발생한다면 어느 것을 발화점이라고 정하기가 힘들다. 또한 측정된 정보 중 온도가 가장 높은 것을 발화점이라고 정한다면 이것도 오류가 생기게 된다. 불의 발생은 순식간에 생기게 되며 불의 처음 온도가 발생한 후에 온도가 가장 높아지기 때문에 정확한 발화점을 구하기가 힘들다. 이를 위하여 본 논문에서는 발화점을 하나의 위치로 보는 것이 아닌 영역으로 발화점 찾기를 적용 할 것이다. 하지만 영역을 적용하기에는 정확도가 매우 떨어지기 때문에 영역을 정하고 영역 안에서의 발화점의 위치를 다시 정함으로써 2번의 발화점 측정을 할 것이다. 2번의 발화점 측정은 정확도를 높이는 효과를 볼 수 있다.

4.1 FMP를 이용한 발화점 영역 찾기

발화점 영역을 만들기 위해서는 영역의 조건이 있어야 하며 조건에 맞는 센서들의 정보도 찾아야 한다. 발화점

영역을 구성하는 조건으로는 가장 높은 온도를 사용하여 찾는 것이 가장 적합하다. 센서가 처음 불을 감지하게 되면 센서는 온도와 GPS 정보를 클러스터 헤더에게 전달하게 된다. 전달 받은 클러스터 헤더는 받은 정보를 저장하고 있고 다음 센서의 정보를 기다리게 된다. 일정 시간 동안 센서의 정보가 3개가 모이거나 센서의 정보 중 온도가 가장 높은 정보 3개를 선정하여 발화점 위치 계산을 하게 된다. 센서가 감지한 3개의 정보를 이어보면 그림4 과 같이 삼각형이 나오게 되며 97, 98, 100, 101도는 섭시 온도를 나타낸다. 영역 중 제일 작은 영역을 표시하면 삼각형 형태일 것이다. 많은 모양의 영역도 있지만 영역이 넓어지면 발화점의 정확도가 떨어지게 된다. 따라서 가장 작은 영역을 발화점 영역으로 표시 하는 것이 가장 정확한 영역을 구할 수 있기 때문에 삼각형 형태를 적용하였다.

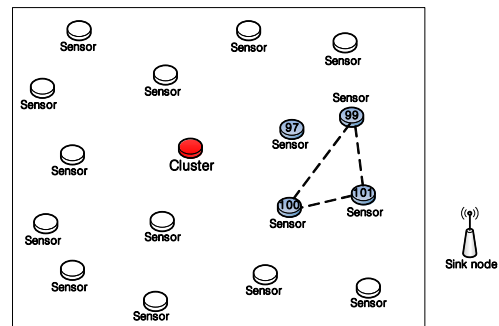


그림 4. 삼각형 형태의 발화점 영역

발화점은 발화점 영역 안에서 존재한다. 따라서 발화점 영역에서의 발화점을 찾는 것은 발화점 영역 보다 정확도가 높아진다. 우선 발화점 영역 안에서의 발화점을 모르기 때문에 발화점 영역의 중심을 구하는 것이 가장 기본이 될 것이다. 삼각형의 중심을 구하는 공식은 많지만 삼각형의 좌표에 의하여 중심을 구할 수 있는 삼각형 무게중심 법을 사용한다. 삼각형 무게중심은 다양한 모양이 나와도 하나의 무게 중심을 갖기 때문에 발화점 영역의 삼각형의 중심을 구하는데 적합하다. 그림 4를 삼각형의 무게 중심의 공식에 적용하면 수식 5와 다음과 같다.

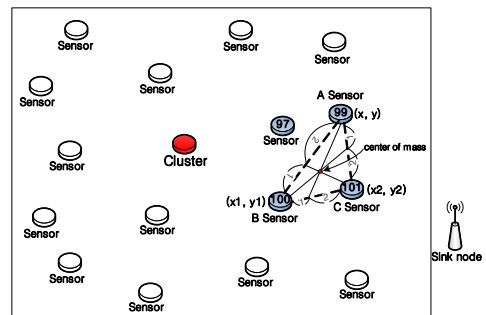


그림 5.삼각형 무게중심 구성도

수식 5는 A, B, C, 센서의 좌표 값을 가지고 무게 중심을 표현 하였다.

수식 5 $G((x+x_1+x_2)/3,(y+y_1+y_2)/3)$

발화점 영역에서의 삼각형 무게 중심은 발화점이 될 수 없다. 따라서 발화점의 삼각형 무게 중심을 실제 발화점에 맞게 이동해야 한다. 이를 위해서는 A, B, C, 센서의 온도 정보가 필요하다. 그림 6에서 보듯이 A, B, C, 센서 중 발화점에 가장 가까이에 있는 센서는 C센서 일 것이다. 온도가 높다는 것은 불이 일어난 중심을 나타내며 B, C, 센서는 불이 퍼져나가는 것을 알 수 있다. 따라서 발화점의 위치는 C센서와 가장 가까이에 있을 것이다. 그러므로 삼각형의 무게중심은 C센서위치에 가까워야 한다. 기존의 삼각형의 무게 중심은 A, B, C, 센서가 동등하다고 볼 때 성립되었던 것이다. 하지만 불의 발화점을 구하는 A, B, C, 센서의 온도는 동등하다고 볼 수 없다. 그러므로 그림 6과 같이 A, B, C, 센서는 온도 변화가 큰 순서로 변환상수 T, T'을 더하여 삼각형의 모양을 바꾼다.

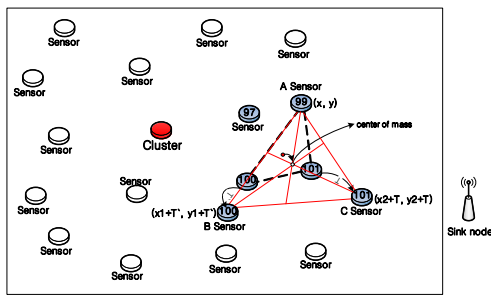


그림 6. 변환 상수 T에 의한 삼각형 무게 중심 재구성

삼각형 모양이 T, T'상수에 의하여 바뀌게 되면 무게 중심도 함께 이동하게 된다. 수식 6은 T, T'상수에 의하여 삼각형 무게중심을 중요도에 따른 무게중심으로 바뀌게 되었다. T상수는 C센서의 온도에서 B센서의 온도를 뺀 값을 나타내며 T'은 B센서 온도에서 A센서의 온도를 뺀 값을 나타낸다. T, T'와 각각의 센서 좌표에 더하게 된다. 새로운 삼각형을 만들 수 있다.

수식 6. $G((x+(x_1+T'))+(x_2+T))/3,(y+(y_1+T'))+(y_2+T))/3)$

처음 삼각형의 무게 중심은 발화점을 구하는데 사용하였고 두 번째 무게 중심은 온도의 변화에 따라서 삼각형을 재구성한 것이다. 이는 온도에 따라서 무게 중심을 변화함으로써 정확한 발화점을 구할 수 있게 되었다.

5. 발화점에 의한 불의 이동 경로 찾기

발화점을 찾게 되면 불이 처음 발생했던 지역을 찾게 된 것이다. 하지만 불은 계속적으로 번져 나게 되며 발화점에서 시작한 불은 다음 지역으로 옮겨 갈 수 있다. 이것은 발화점이 옮겨 갔다고 볼 수 있다. 수식 6의 방식을 주기적으로 사용하게 되면 그림 7 와 같이 여러 개의 발화점을 구할 수 있다. 발화점을 시간 순서에 맞게 선을 그어보

면 하나의 진행 방향이 나오게 된다. 이를 불의 진행 방향이라고 할 수 있다.

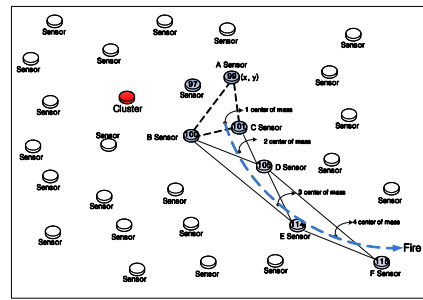


그림 7. 여러 개의 발화점을 이용한 불의 진행 방향

불의 진행방향을 구하게 되면 산불의 진화에 많은 도움을 줄 수 있다.

5. 결론 및 향후 방향

본 논문에서는 효과적인 발화점을 찾기 위하여 FMP 방식을 제안하였다. FMP 방식은 지능적 센서가 스스로 자신이 불이 난 것을 판단하고 클러스터 헤더에게 전달하게 된다. 전달 받은 클러스터 헤더는 발화점을 찾기 위하여 정보를 수집하고 발화점 영역을 구성하게 된다. 구성된 발화점 영역은 다시 삼각형 무게 중심을 이용하여 정확한 발화점을 구하게 되었다. 발화점 구하는 방식으로 주기마다 구하게 되면 몇 개의 발화점을 구할 수 있으며 이를 연결하면 불의 진행 방향을 구할 수 있다. 또한 불의 진행 방향과 발화점의 오차는 4mm정도이며 이는 상당히 적은 오차라고 할 수 있다. 하지만 x축의 오차가 큰 것으로 보인다. 이는 향후 더 연구할 부분이 될 것이다.

참고문헌

[1] Liang-min Wang, Jian-feng Ma, Chao Wang, Alex Chichung Kot, Senior Member, IEEE; "Fault and Intrusion Tolerance of Wireless Sensor Networks," 20th International Parallel and Distributed Processing Symposium, 2006. IPDPS 2006.
 [2] KeeBum Kim, YiYing Zhang, WenCheng Yang, MyongSoon Park; "An Authentication Protocol for Hierarchy-Based Wireless Sensor Networks," on 23rd International Symposium of Computer and Information Sciences, 2008. ISCIS '08.
 [3] Römer, Kay; Friedemann Mattern(December 2004), "The Design Space of Wireless Sensor Networks", IEEE Wireless Communications 11 (6): 54 - 61, doi:10.1109/MWC.2004.1368897
 [4]Thomas Haenselmann (2006-04-05). Sensornetworks. GFDL Wireless Sensor Network textbook.
 [5]Tiwari, Ankit et. al, Energy-efficient wireless sensor network design and implementation for condition-based maintenance, ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN).