

# 센서 필드에서 플럼 추적을 위한 효율적인 에지 검출 기법

성동욱\*, 이석재\*, 유재수\*  
\*충북대학교 정보통신공학과

e-mail:{sergei, sjlee}@netdb.cbnu.ac.kr, yjs@cbnu.ac.kr

## An Efficient Edge Detection Algorithm for Plume Tracking in Sensor Field

Dong-Ook Seong\*, Seok-Jae Lee\*, Jae-Soo Yoo\*  
\*Dept of Information and Communication Engineering,  
Chung-buk National University

### 요 약

사람들이 살아가는 환경에는 여러 가지 위급한 환경 이벤트가 발생하는데 이들에 대한 상황파악을 통해 효율적인 대처방안을 도출해 낼 수 있다. 그러나 험준한 산악지대, 넓은 사막지대와 같이 쉽게 사람이 접근하기 힘든 위치에서도 이벤트가 발생한다. 이러한 환경에서 이벤트 상황을 파악할 수 있는 가장 효율적인 방법으로 무선 센서 네트워크를 꼽을 수 있다. 무선 센서 네트워크를 적용 가능한 분야는 산불 감시, 지진이나 화산활동 감시, 유독 물질 확산 탐지 등을 들 수 있다. 본 논문에서는 유독 가스, 산불, 기압골 등 광범위한 걸쳐 플럼(Plume) 형태로 발생하는 이벤트의 범위를 센서를 통해 지속적으로 손쉽게 알아내기 위한 Plume 추적기법을 제안한다. 제안하는 플럼 추적 기법에서는 센서 간 통신비용을 감소시키는 새로운 에지 검출 기법을 제안해 센서의 에너지 소모를 줄여 전체 센서 네트워크의 운용시간을 크게 향상시킨다.

### 1. 서론

1986년 4월 원자로 폭발 사고가 발생한 체르노빌 원자력 발전소의 예를 보면 처음 폭발이 발생한 이후 엄청난 양의 방사능 물질(플럼)이 누출되었다. 이렇게 누출된 방사능 물질은 바람을 타고 스웨덴 중부지방을 지나 중앙유럽, 발칸반도까지 퍼져나갔다. 이러한 재난에 의한 플럼이 발생하면 정부는 플럼의 모양, 위치, 이동방향 등의 정보를 지속적으로 확인해 후속 조치를 취한다. 이 플럼을 정찰기 혹은 전문기 파견과 같은 조사방식으로 확인할 수 있지만 이러한 플럼 대부분이 발생 범위가 넓고 실시간적인 확인을 필요로 하기 때문에 적절하지 않다. 하지만 조사대상 영역에 미리 센서를 배포하고 이 센서들로부터 플럼에 대한 데이터를 수집하면 플럼의 이동과 확산을 실시간으로 모니터링 하는 것이 가능하다.

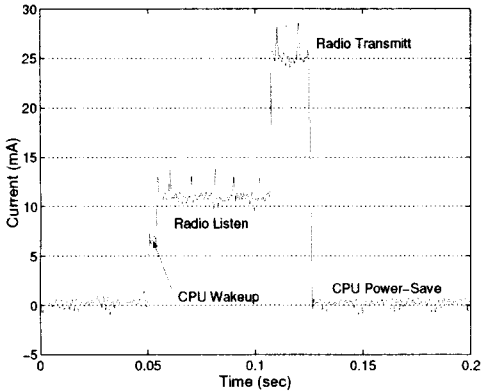
오늘날 센서를 이용한 모니터링 기법을 이용하는 분야는 군사목적의 센싱 또는 추적, 교통량 제어, 지

진 발생지역 및 강도추정 등이 있다. 넓은 영역에 배포된 센서를 이용한 실시간 모니터링 어플리케이션에 대한 수요는 갈수록 증가하고 있다.

최근 사용되는 센서는 크기가 작고, 어떠한 지형에서도 동작 할 수 있고, 상황에 따라 다양한 응용에 적용 가능한 여러 종류의 센싱 모듈을 포함시킬 수 있으며, 센서 간 협업을 위한 통신 기능을 포함한다. 센서동작에 필요한 공급 전력은 자체 배터리를 통해 공급되기 때문에 외부 전력공급선이 필요하지 않다. 그러나 내장 배터리를 전부 소모하게 되면 동작이 불가능해진다. 따라서 센서의 동작 시간은 얼마나 내부 배터리 전력을 얼마나 오래 유지 할 수 있는지에 따라 결정된다. 먼저 센서에서 배터리를 이용하는 모듈을 크게 세부분으로 구분할 수 있다. CPU 구동에 쓰이는 전력, 환경 정보를 센싱하는데 쓰이는 전력, 그리고 데이터 통신에 사용되는 전력이 있다. 환경 정보를 센싱하는데 쓰이는 전력은 모든 센서들이 공통적으로 필요로 하므로 고려하지 않는다. (그림 1) 은 센서가 하나의 메시지를 무선으로 수신

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(과제번호R01-2006-000-10809-0)지원 및 2006년도 교육인적자원부 지방연구중심대학사업의 연구결과물입니다.

하고 다시 전송할 때 순간 소모되는 전력량을 나타낸 것이다. CPU가 활성 모드로 동작할 때 전력 소모량에 비해 메시지 수신은 2배, 송신은 5배 정도 높다[1]. 따라서 센서의 전력 소모를 줄이기 위해서는 통신비용을 줄이는 것이 가장 효과적이라고 할 수 있다.



(그림 1) Mica2 센서에서 하나의 무선 메시지를 송수신하는데 소모되는 전력량

본 논문에서는 플럼의 위치, 모양, 이동경로 등을 추적하기 위한 플럼 추적 기법을 제안한다. 제안하는 추적 기법은 플럼의 에지 추출 기법을 이용해 센서에서 소모되는 전력량을 줄인다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 에지 검출이 센서 네트워크상에서 어떻게 적용되는지를 설명하고, 기존에 제안되어진 Localized 에지 검출 기법에 대해 설명한다. 3장에서는 제안하는 에지 검출 기법과 이를 이용해 플럼을 추적하는 기법을 설명한다. 4장에서는 제안하는 방법의 성능평가 결과를 기술한다. 마지막으로 5장에서 결론과 향후 연구 방향을 기술한다.

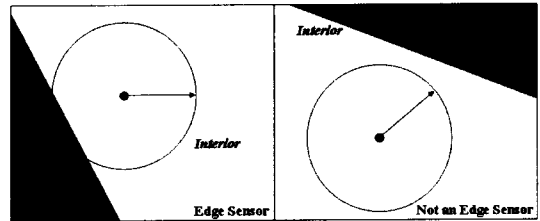
## 2. 관련 연구

에지 검출은 디지털 이미지 프로세싱 분야에서 많이 사용된다[3]. 에지 검출은 (그림 3)과 같이 대상물과 배경의 경계 즉, 이미지의 색이 급격히 바뀌는 부분을 찾아내는 것을 말한다.



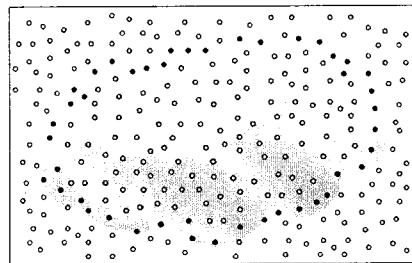
(그림 2) 디지털 이미지의 에지 검출

Localized 에지 검출 기법에서는 센서를 이용한 플럼 검출에 일반적인 에지 검출 방법을 적용하여 플럼의 가장자리에 위치한 센서들을 찾아 플럼의 모양과 위치를 파악 할 수 있는 방법을 제안했다.[2] 이 방법은 모든 센서들이 이웃 센서노드들과 통신을 통해 자체적으로 자신이 플럼의 에지영역에 포함되어 있는지를 판단하게 된다. 이때 센서의 통신 반경내에 위치한 센서가 모두 플럼을 센싱한 즉, 모두 Interior에 위치한 센서이면 자신이 에지영역에 포함되지 않았다고 판단하며, 센서들 중 일부가 플럼을 센싱하지 못한 경우, 즉 일부 센서들이 Exterior에 위치하고 있다면 자신이 에지영역에 포함되었다고 판단한다. (그림 3)은 센서의 에지 판단 과정을 보여 준다.



(그림 3) Localized 에지 검출 알고리즘에서의 에지 센서 판별

이러한 작업들이 각 센서에서 개별적으로 수행되어 그 결과 데이터를 종합하면 (그림 4) 와 같이 에지 센서들을 이용해 플럼 전체의 크기와 모양을 알 수 있다.



(그림 4) 센서 필드에 발생한 플럼의 모양과 플럼의 에지에 위치한 센서

Localized 에지 검출기법은 플럼의 에지를 알아내기 위해 플럼을 센싱한 모든 센서들이 이웃 센서들과의 통신을 필요로 한다. 만약 플럼의 영역이 광범위한 영역에 걸쳐 나타나게 되면 많은 수의 센서들이 동작하게 된다. 그리고 이 기법은 플럼 추적을 목적으로 설계되어 있지 않기 때문에 추적에 사용하게 되면 반복적으로 에지를 추출하여야하기 때문에 많은 센서들이 반복적으로 큰 통신비용을 소모하게

된다[4].

### 3. LED-PT: 제안하는 플럼을 추적하기위한 효율적인 에지 검출 기법

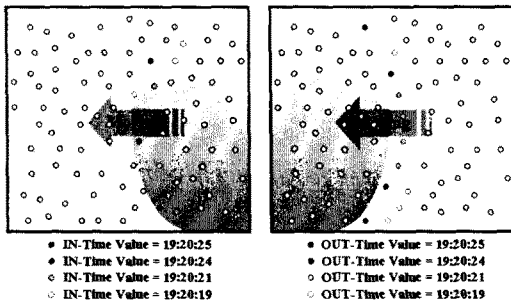
#### 3.1 가 정

본 논문은 다음과 같은 센서 네트워크 환경을 가정한다.

- 1) 센서 네트워크를 구성하는 모든 센서는 자신만의 ID를 가지고, 통신, 연산 그리고 센싱이 가능하며, 자체 배터리로 구동되며, 데이터를 저장할 수 있는 버퍼를 가지고 있으며, 서로 동일한 성능을 지닌다.
- 2) 센서 필드는 2차원 평면상에 고정적으로 배포되어 있고, 각 센서들은 주변 하나 이상의 센서와 통신이 가능한 거리를 유지할 수 있는 균일한 밀도로 배포되어 있으며, 싱크가 맞는 타이머를 가지고 있다.
- 3) 데이터를 수집하는 서버는 모든 센서들의 위치를 알고 있다.
- 4) 플럼은 처음 발생 이후 확산되거나 이동한다.

#### 3.2 제안하는 에지 검출 기법의 주요 자료구조

모든 센서들은 자신의 메모리영역에 *InTimeValue*, *OutTimeValue*, *EdgeInterval* 그리고 *InitTime* 버퍼를 가지고 있다. *InTimeValue*에는 센서 자신이 플럼을 처음 센싱한 시간을 저장하고, *OutTimeValue*에는 최초로 플럼을 센싱하지 못한 시간 즉, 플럼 내부에서 외부로 빠져나간 직후의 시간을 저장한다. *EdgeInterval* 버퍼에는 추적을 위해서는 주기적으로 에지를 생성해야 하는데 여기서 에지를 생성하는 주기를 저장하고, *InitTime* 버퍼에는 최초 플럼이 발생한 시간을 저장한다. (그림 5)는 *InTimeValue*와 *OutTimeValue*가 각 센서에 저장되는 예를 보이고 있다.



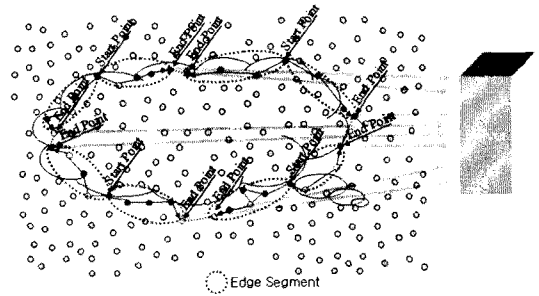
(그림 5) 플럼이 이동함에 따라 센서가 가지고 있는 *InTimeValue*와 *OutTimeValue*의 값

### 3.3 LED-PT의 알고리즘

제안하는 기법에서는 다음과 같은 과정으로 에지를 찾아낸다.

1. 플럼을 처음 센싱한 노드는 주변 이웃노드들에게 *InitTime* 값을 브로드캐스트 한다.
2. 에지 탐색의 시발점이 되는 센서 노드인 Start Point 노드를 선정하고, Relay 메시지를 만들어 이웃노드들에게 브로드캐스트 한다.
3. 각 센서는 *EdgeInterval* 값을 주기로 자신이 에지 센서인지 아닌지 판단하고, 에지 노드인 경우 수신한 릴레이 메시지에 자신의 정보를 추가하여 다시 브로드캐스트 한다.
4. 에지 탐색의 최종 센서 노드인 End Point Node가 릴레이 메시지를 수신하게 되면 해당 Message를 Basestation에게 전송한다.

(그림 6)은 LED-PT를 이용해 에지를 찾는 과정을 보여준다.



(그림 6) LED-PT를 이용한 에지 검출

플럼이 크기의 변화나 이동함에 따라서 수많은 센서들이 플럼의 영역에 포함되기도 하고, 벗어나기도 한다. 여기서 Variation Event는 센서 노드가 플럼 외부에서 내부로 들어가거나 혹은 플럼 내부에서 외부로 나오거나 할 때 즉, 센싱하고 있는 데이터의 상태가 변화하는 것이라고 정의한다.

에지를 추출하기 위해서는 에지에 해당하는 센서들의 정보를 수집해야한다. 이는 에지에 해당하는 센서들 간의 통신을 통해 에지 정보를 모을 수 있는데 (그림 7)의 구조를 가지는 릴레이 메시지를 전달시켜가며 에지 센서 정보의 Aggregation을 통해 수집 가능하다. 여기서 릴레이 메시지를 생성하고 최초 브로드캐스트 하는 노드를 Start Point Node라 하고 아래의 식 (1)을 만족하고, Variation Event가 발생한 노드가 Start Point 노드로 선정된다. 이미 특정 Start Point 노드로부터 브로드캐스트된 릴레이 메시지 수신과 동시에 다른 Start Point 노드로부터 브로드캐스트된 릴레이 메시지를 수신한 노드를

Packet ID	Integrated Sensor Node ID	Now	Edge Thickness Decision Value	Additional Time Range
1	1 : 2 : 5 : 7 : 6 ...	19:20:25	00:00:15	00:00:03 ...

(그림 7) 릴레이 메시지 패킷 구성요소  
End Point 노드라고 한다. End Point 노드는 Aggregation된 데이터를 Basestation에게 전달한다.

$$(Now - Init Time) \% Edge Interval = 0 \quad (1)$$

아래의 에지 센서 필터링 조건 식 (2), (3) 중 하나를 만족하는 노드가 에지 센서로 선정된다. Now 값은 현재시간을 의미하고, Edge Thickness Decision Value는 에지 영역의 두께를 결정하는 요소로서 값이 커지면 생성되는 에지의 두께가 두꺼워지고, 작아지면 생성되는 에지의 두께가 얇아진다.

$$Now \geq IN-Time Value$$

$$\geq (Now - Edge-Thickness-Decision Value) \quad (2)$$

$$Now \geq OUT-Time Value$$

$$\geq (Now - Edge-Thickness-Decision Value) \quad (3)$$

기존 에지 검출 기법들은 플럼의 에지를 검출하기 위해 플럼을 감지한 모든 센서들이 서로 통신을 한다. 그러나 제안하는 에지 검출 기법은 플럼의 실제 에지영역에 가까운 센서들 간의 통신만으로 에지를 검출 할 수 있어, 플럼 추적에 필요한 센서 간 통신 횟수가 크게 줄어들 것으로 기대된다.

#### 4. 성능 평가

이 장에서는 제안하는 LED-PT 알고리즘의 구현 내용과 실험 환경에 대해 기술하고, 성능 평가를 통해 LED-PT 알고리즘의 우수성을 입증한다.

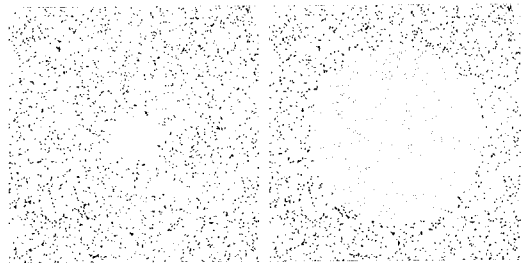
성능 평가에 사용된 센서필드의 크기는 600x600이고, 센서 개수는 2000개로 하였으며, 균일하고 고정적으로 배포시켰다. 센서의 통신 반경은 4~5개의 이웃 노드와 통신이 가능한 범위로 설정하였다.

(그림 8)은 원형의 플럼이 발생 후 시간이 지나면서 (a)에서 (b)로 점점 확장되어가는 상황을 LED-PT 알고리즘을 이용해 에지 검출을 한 결과이다.

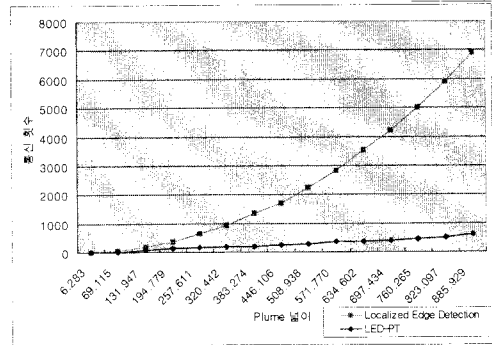
(그림 9)는 기존의 에지 검출기법과 제안하는 기법의 하나의 에지 생성에 필요한 통신 횟수를 나타낸다. 제안하는 기법이 처음 플럼의 크기가 작을 때는 기존 기법과 차이를 보이지 않지만 범위가 넓어짐에 따라 통신하는 센서의 수가 급격히 증가하는 기존 기법에 비해 크게 줄어드는 것을 확인하였다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 플럼의 모양 변화, 위치 이동을



(그림 8) 600x600사이즈의 필드에 2000개의 센서가 균일하게 배포되고, LED-PT 동작 모습



(그림 9) 플럼의 넓이에 따른 각 알고리즘별 통신 횟수

추적하는 효율적인 에지 검출기법을 제안했다. 제안하는 기법은 새로운 에지 추출 기법을 이용해 센서의 통신 횟수를 줄여 센서의 전력소모를 최소화 한다.

향후 연구로 제안하는 기법을 통해 발생한 데이터를 색인화 하는 기법과 이를 바탕으로 질의를 처리하는 기법에 대한 연구를 수행할 예정이다.

#### 참고문헌

- [1] Victor Shnayder, Mark Hempstead, Borrrong Chen, Geoff Werner Allen, and Matt Welsh, "Simulating the Power Consumption of Large-Scale Sensor Network Applications", SenSys'04, 2004.
- [2] Krishna Kant Chintalapudi, Ramesh Govindan, "Localized Edge Detection in Sensor Fields", IEEE, 2003.
- [3] Bernd Jahne, Digital Image Processing., Springer, 4th edition, 1997.
- [4] Anand Meka, Ambuj K. Singh, "DIST: A Distributed Spatio-temporal Index Structure for Sensor Networks", CIKM'05, 2005.