

## 분산 음원위치판별 시스템을 위한 이벤트 영역 결정 기법

유영빈<sup>0</sup> 차호정  
연세대학교 컴퓨터과학과  
{ybyou<sup>0</sup>, hjcha}@cs.yonsei.ac.kr

### Finding Event Area for Distributed Acoustic Source Localization System

Youngbin You<sup>0</sup> Hojung Cha  
Department of Computer Science, Yonsei University

#### 요 약

WSN에서 가장 요구되는 요소들 중 하나인 높은 scalability를 가지는 분산 시스템에서는 WSN의 센서 노드가 능력이 한정되어 있기 때문에, 구현 가능한 경량 알고리즘이 필요하다. Distributed Acoustic 위치판별(DSL) 시스템은 이러한 scalability와 노드 능력에 적합하게 설계되었다. 이벤트 영역은 이벤트를 감지하는 분산 시스템에서의 정확도와 알고리즘의 복잡도에 직결되기 때문에 그 중요성이 WSN에서 더욱 크지만 이 시스템은 이벤트 영역에 대한 고려가 존재하지 않았고, 따라서 DSL 시스템은 성능이 최적화 되지 못하였다. 우리는 DSL에 적합한 이벤트 영역을 정의하여 시스템의 성능을 향상시켰다.

#### 1. 서론

음원 위치판별 기술은 WSN기술의 개발과 만나면서 새롭게 변화하였다. 각 센서들이 무선통신모듈을 갖추고 독립된 프로세서를 가지면서 센싱을 넘어서 더욱 많은 일을 할 수 있게 되었다. WSN 응용의 특징은 낮은 능력을 가진 많은 수의 센서가 넓은 범위에 걸쳐 존재하기 때문에 scalability는 WSN에서 무엇보다도 중요한 이슈이다. 우리는 scalability를 노드의 개수와 노드가 설치되는 공간의 크기가 증가함에 따라 얼마나 성능의 저하가 적은지를 판단하는 기준으로 정의한다. 지금까지 많은 연구가 진행되어 온 중앙 집중된 시스템[1][2]은 연산에 필요한 모든 데이터가 높은 능력을 가지는 베이스 컴퓨터로 전송되고, 베이스 컴퓨터는 이 데이터를 높은 복잡도의 알고리즘을 통해 음원의 위치를 추정하였다. 하지만 중앙 집중된 시스템은 유선 시스템의 센서에 무선 통신 모듈을 탑재하였을 뿐 WSN에서 크게 요구되는 scalability에 대한 고려가 없었다. 각 센서가 배터리로 동작함에도 불구하고 노드와 대상 공간의 크기가 증가할수록 전송량이 비약적으로 증가하여

한정된 라디오 자원으로는 담당할 수 없게 된다. 따라서 위치판별 알고리즘의 효율성과 관계없이 데이터를 유실, 손실하게 되어 결국 정확도의 저하와 연결되며, 시스템의 수명이 크게 줄어든다.

Scalability를 보장하기 위한 연구로 클러스터에 기반한 2 단계 구조[3][4]와 분산 시스템[5]이 제안되었다. 2 단계 구조는 높은 연산능력을 가지는 클러스터 헤드(CH)와 저가의 센서 노드로 구성된다. 클러스터가 하나의 단위가 되어 넓은 범위에 설치될 수 있기 때문에 중앙 집중된 시스템 보다 높은 scalability를 제공하지만, 다수의 비싼 CH가 필요하며, 그 CH를 구성, 운용하는 오버헤드가 요구되며, 클러스터 단위로 사람이 의한 노드 설치만 가능하다. 이와 다르게 분산 시스템은 동일한 센서 장비만을 사용한다. 분산 알고리즘은 높은 scalability를 보장하며, 클러스터와 같은 추가 오버헤드가 존재하지 않는다. [5]에서 제안되었던 Distributed Acoustic Source Localization (DSL) 시스템은 단순하면서도 효과적인 위치판별 알고리즘을 제안하였고, 이는 센서 노드만을 이용하는 시스템에 구현 가능성을 크게 높였다. 그러나 WSN에서의 분산 시스템은 센서 노드의 낮은 능력만으로 동작해야 하기 때문에 그 정확도

본 연구는 과학기술부에서 지원하는 국가지정연구실사업으로 수행하였음 (과제번호 : 2006-01546)

가 저하될 수밖에 없다. 또한 DSL시스템은 알고리즘이 동작하는 이벤트 영역에 대한 고려가 부족하였기 때문에, 그 성능이 최적화되지 못하였다. 이에 우리는 DSL시스템에서의 이벤트 영역에 대해 정의하여 시스템의 성능을 향상시켰다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안했던 DSL시스템에 대한 개론을 서술한다. 3장에서 DSL시스템에서의 이벤트 영역에 대한 정의를 제안하고, 4장에서는 이를 시뮬레이션을 통해 검증한다. 5장에서는 결론과 향후 연구에 대해 기술하겠다.

## 2. Distributed Acoustic Source Localization (DSL) 시스템

DSL system은 전체 노드가 동일하며, 노드에서 충분히 동작 할 수 있을 만큼 단순하고, 에러에 강인하다. 높은 scalability를 보장하는 분산 알고리즘을 통해 음원이 충분히 떨어져 있을 경우에는 여러 개의 음원에 대한 처리도 가능하다.

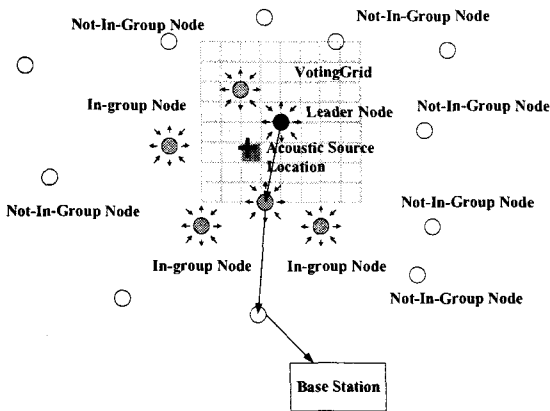


그림 1 DSL 시스템 개관

그림 1은 시스템 동작의 개관을 나타낸다. 시스템은 음원의 발생시 동적으로 Group이 생성된다. Group은 음원을 특정 통제 메시지 없이, 감지한 노드들 사이에 생성되는 암시적 집합으로, 음원 하나에 하나의 Group이 생성되며 그 안에서만 Source 위치판별 알고리즘이 동작한다. 각 노드는 음파를 감지시 자발적으로 자신이 Group원임을 가정한다. 생성된 Group내의 노드들은 자신이 감지한 음파 정보를 서로 교환한다. 리더 선출 알고리즘을 통해 시간 혹은 에너지를 통해서 음원과 가장 가까운 노드가 선정된다. 선

정된 리더는 자신이 리더로 선출되었음을 Group내의 노드에게 알리고, 각 노드들은 자신이 수집한 이웃 노드의 정보를 통해서 위치판별 연산을 실시한다. 각 노드는 리더가 이벤트에 가장 가까운 노드이므로, 리더노드를 중심으로 하는 VotingGrid를 생성한다. VotingGrid는 공간적 배열로서 노드가 추정을 하는 대상 공간이다. 모든 데이터에 대한 반복이 끝나면 각 노드는 음원 위치에 대한 중간 결과를 가지게 된다. 이것들은 리더 노드에게 전송되며 리더 노드는 이를 합하여 음원의 위치를 결정한다. 이후 Group은 해체되고 노드들은 초기화된다.

DSL 시스템에서는 VotingGrid의 크기에 대한 정책이 존재하지 않았다. 분산 시스템에서 알고리즘의 대상공간에 대한 크기는 그 연산량에 직결됨을 생각할 때 이를 고려해야만 한다. 우리는 다음절에 DSL시스템에서의 이벤트 영역에 대한 정의를 살펴볼 것이다.

## 3. DSL 시스템에서의 이벤트 영역

DSL에서는 시스템이 적합한 영역을 정의하였다는 가정으로 실험에 적합한 크기를 사용하였다. Event Region(ER)은 정확도와 연산량에 직접적인 영향을 주는 요소이기 때문에 그 중요성이 크다.

우리는 이벤트 감지 정보를 통해 이벤트와 가장 가까운 노드로 선출되는 리더 노드를 이용할 때 한정된 ER를 얻을 수 있다. 즉, 리더 노드 근방에 이벤트가 존재하기 때문에 [5]에서 제시한 리더 선출 방법을 통해, 이벤트를 감지한 노드의 개수와 관계없이 일정한 크기를 ER로 정의할 수 있다. ER의 크기는 이론적으로 리더가 포함된 Voronoi region[6]을 선택하는 것이 가장 이상적이나, 기초하는 시스템이 제한적인 리소스를 가진 하드웨어 위에서 동작하기 때문에, Voronoi region을 계산하는 것은 매우 어렵다. 따라서 우리는 Voronoi region대신, DSL에서의 새로운 ER에 대한 정의를 제시한다.

리더 노드가 포함된 Voronoi region은 주위 노드의 위상에 따라 결정된다. WSN의 노드들은 Voronoi region을 직접 계산할 수 없기 때문에 Voronoi region이 어떤 형태로 존재하는지 예측 할 수 없다. 노드의 배치가 격자 형태로 배포된 상태를 가정하면, 리더 노드를 포함하는 Voronoi region은 노드간 거리의 평균 정도의 가로, 세로 크기를 가진다. 임의적인 위상을 가정하는 DSL시스템에서도 기본적으로는 리더와 그 외의 노드들 간의 평균 거리를 기준으로 한다. 정의하는 ER는 정방형이며  $sh$  이벤트에

대한 ER의 한변의 길이  $W_j$ 는,

$$W_j = \left[ \alpha \cdot \frac{\sum \|S_j - S_l\|}{m-1} \right], \quad j=1,2,\dots,l-1,l+1,\dots,h \quad (4)$$

로 정의한다.  $S_j$ 은 리더 노드의 위치이며,  $\alpha$ 는 환경 계수이다. 기본 값이 1인 환경 계수는 노드들이 설치된 환경의 영향을 반영한다. 예를 들어 에러가 쉽게 유발되는 환경(i.e 노이즈나 올림) 또는 시스템 요구사항(i.e 편향된 노드 분포, 낮은 샘플링 비율) 등에 의해 시스템에 오류가 커지는 상황 발생에서는  $\alpha > 1$ 이 된다. ER의 최적의 크기로 얻을 수 있는 연산량의 감소를 희생하여, 정확도를 향상시킬 수 있다. 이는 시스템 설치시 결정하는 요소이며, 연산량과 정확도 그리고 환경을 고려한 적절한 값을 적용해야 최적의 결과를 얻을 수 있다.

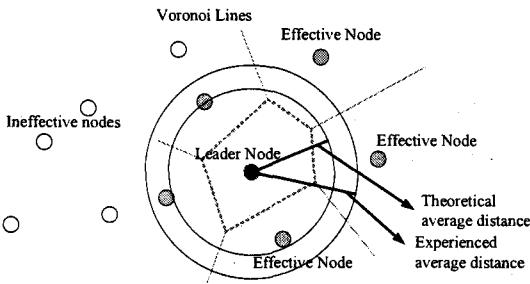


그림 2 노드 평균 거리에 대한 보정 과정

이렇게 결정된  $W_j$ 는 자신이 포함된 Voronoi region과 큰 차이가 존재한다. 이는 Group내의 모든 노드들이 리더 노드의 Voronoi region을 형성하지 않기 때문이다. 우리는 이러한 노드를 ineffective node, 리더 노드의 Voronoi region을 형성하는 노드들을 effective node라 정의한다. 이 노드들을 정확히 구분하는 것은 WSN의 노드에게는 너무나 큰 부담이 되므로, 노드의 배포상태를 추정하는 방법이 요구된다. 이를 위해 우리는 노드의 밀도를 고려했다. 그림 2는 결정된  $W_j$ 의 보완 알고리즘에 대해 나타낸다. 먼저 리더 노드가 중심이며 크기가  $W/2$ 인 원을 생각한다. 이 원은 리더 노드로부터 각 노드까지의 거리의 1/2이다. 이 원을 포함하는 최소 사각형이 식 (4)에서 제시한 VotingGrid이다. 다른 하나의 원은 노드의 밀도를 바탕으로 계산한 이론적인 노드간 평균 거리( $T$ )이다. 이론적인 평균거리와 실제 측정된 평균 거리를 통해서 노드의 분포를 추론할 수 있다.  $W_j > T_j$ 인 경우 실측된 거리가 더 멀

며, 이는 크게 멀리 있는 노드들이 존재하며 이들은 effective 노드가 될 확률이 크게 감소한다. 따라서 이 노드들에 의해 영향을 받은  $W_j$ 가 감소해야만 한다. 또한  $W_j < T_j$ 인 경우는 반대로 노드들이 리더 노드의 주위에 밀집되어 있으며, 리더 노드로부터 거리가 상대적으로 먼 노드들도 effective 노드가 될 확률이 증가한다. 따라서  $W_j$ 가 증가해야 effective 노드들을 포함 할 수 있다. 다음 식은  $j$  번째 이벤트에 의해 최종 결정되는 VotingGrid의 크기  $G_j$ 를 나타낸다.

$$G_j = W_j - \beta(W_j - T_j) \quad (5)$$

$\beta$ 는 신뢰도이다. 식 4에서 도출된 노드간 평균 거리의 신뢰성이 낮을 만큼 증가하게 되며, 신뢰도에 대한 분석은 전체 노드의 위상에 따라서 결정된다. 크게 편향된 위상을 가지는 시스템일수록, 그 크기가 커지게 되어 산출된 평균거리를 보정한다.

#### 4. 분석

제안된 ER과 그에 따른 VotingGrid 생성 알고리즘의 검증을 위해 우리는 Voronoi Diagram을 이용하여 이론적으로 최적화된 결과와의 비교를 하였다. 시뮬레이션은 실험마다 Random한 위상의 노드 20 개를 기준으로 1000회 실행되었으며, 전체 필드는 1000X1000의 단위 길이를 기준으로 하였다. 음원의 위치는 (500, 500)에 존재하며, 20개의 노드는 모두 이 음원으로부터 발생된 하나의 Group으로 가정하였다.

먼저 VotingGrid와 Voronoi Diagram의 넓이에 대한 분석을 하였다. 각 ER의 넓이는 알고리즘이 동작하는 대상 공간을 의미하며, 이는 알고리즘의 연산 복잡도와 관련이 깊다. Voronoi Diagram에 의해 생성된 리더를 포함하는 Voronoi polygon은 이론적인 최적 넓이를 가지며, 이 크기에 대한 VotingGrid의 비율을 그림 3에 제시하였다. 그림 3에서 y축은 VotingGrid의 크기/Voronoi Polygon의 크기로서 1000회의 실험에 대한 결과를 보여준다. 제안한 VotingGrid는 Voronoi region에 비해 대부분의 위상에서 동일한 크기를 보이고 있다. 2배 이상 나쁜 결과는 1%의 특정 위상에 한정되었다. 제안된 ER 정의에 의한 VotingGrid는 그 대상공간의 크기가 이상적인 공간인 Voronoi Polygon과 유사하다. 따라서 알고리즘의 대상 공간의 크기에 의한 복잡도 증가가 크게 발생하지 않는다.

다음 우리는 이렇게 생성된 VotingGrid와 Voronoi

Polygon을 바탕으로 DSL 시스템의 음원 위치판별 알고리즘을 동작시켰다. 이를 통해 이상적인 ER에 대한 정의의 기초로 연산한 위치판별 알고리즘과 제안된 ER에 대한 정의를 바탕으로 한 위치판별 알고리즘의 정확도의 차이를 알아볼 수 있다. 그림 4는 예리의 거리별 빈도를 보여준다. y축은 1000회의 실험중 x 단위 길이의 오차를 보인 실험의 수를 말한다. 결과를 보면 알 수 있듯, VotingGrid는 Voronoi Polygon에 의해 산출된 추정 값에 비해 다소 저하된 결과를 보여준다. 그러나 둘의 평균은 각각 19.6, 19.4(단위길이)로 매우 유사하다. 또한 VotingGrid를 기초로 한 결과치가 이상적인 결과에 비해 크게 저하되지 않는다.

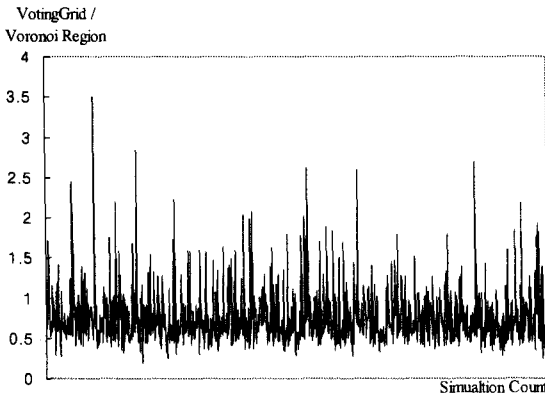


그림 3 VotingGrid와 Voronoi Polygon의 넓이 비율

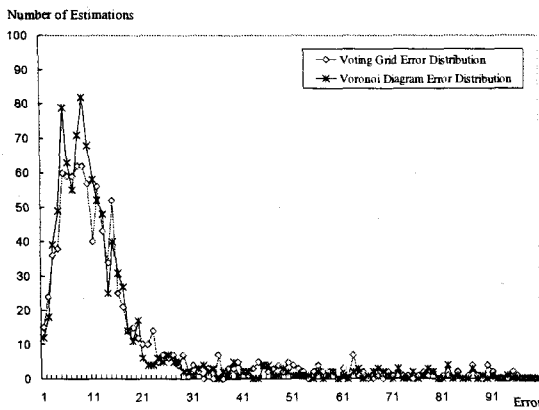


그림 4 VotingGrid를 사용한 경우의 예리 분포와 Voronoi region을 이용한 경우의 예리 분포

## 5. 결론

분산 시스템의 경우 공간에 대한 추정을 할 경우 그 대상 공간의 영역이 알고리즘의 복잡도에 직결된다. 본 논문에서는 Distributed Acoustic 위치판별(DSL) 시스템에 특화된 Event Region을 정의함으로써 시스템 연산의 효율성을 증대하고, 이벤트에 대한 Event Region의 구현 가능한 형태를 제안하였다. DSL 시스템에 적용 가능한 ER에 대한 정의를 하면서도, 그 성능이 이론적인 시스템에 근접하는 결과를 보인다. 향후 분산된 음원위치판별 시스템의 정확도 관련 요소들에 대한 연구를 진행할 예정이다.

## 참고문헌

- [1] Johnston B., Yin X., Valenzuela A., Frantz P.: A Fast Algorithm and Testbed Evaluation for Sound Source Localization Using Sensor Networks. Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference (2005)
- [2] Ledeczki A., Volgyesi P., Maroti M., et al.: Multiple Simultaneous Acoustic Source Localization in Urban Terrain. Proceedings of the 4th Workshop on Information Processing in Sensor Networks (2005)
- [3] Chen W. P., Hou C. J., Sha L.: Dynamic Clustering for acoustic target tracking in wireless sensor networks. Proceedings of IEEE International Conference on Network Protocols (2003)
- [4] Wang Q., Chen W. P., Zheng R., Lee K., Sha L.: Acoustic Target Tracking Using Tiny Wireless Sensor Devices. Proceedings of the 2nd Workshop on Information Processing in Sensor Networks (2003)
- [5] Y. You, H. Cha.: Scalable and Low-Cost Acoustic Source Localization for Wireless Sensor Networks. Proceedings of the 3rd International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing (2006)
- [6] Aurenhammer F.: Voronoi Diagrams - A Survey Of A Fundamental Geometric Data Structure. ACM Computing Surveys 23. (1991) 345- 405