

대기 오염 감시 시스템에서의 센서 샘플링 주기 조정 기법

정영진*, 이양구**, 이동규**, 조금원*

*한국과학기술정보연구원

**충북대학교 데이터베이스 연구실

e-mail:{yjjung, ckw}@kisti.re.kr

{leeyangkoo, dglee}@dblab.chungbuk.ac.kr**

The Sampling Interval Adjustment Technique of the Air Pollution Monitoring System

Young Jin Jung*, Yang Koo Lee**, Dong Gyu Lee**, Kum Won Cho*

*Korea Institute for Science and Technology and Information

**Database/Bioinformatics lab. Chungbuk National University

요 약

무선 기기의 소형화와 무선 통신 기술의 발달, 그리고 센서의 환경 정보 측정 기술 및 센서 네트워크의 확산으로 홍수, 태풍, 지진, 환경 오염, 등 재난의 피해를 줄이고자 재해 방지 시스템에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그리고 이러한 재해는 특정한 시간에 특정 지점에만 발생하는 특징이 있으며, 이 발생 시간을 제외한 나머지 시간대에서는 정상적인 상황을 유지한다. 이와 같은 특성은 센서 네트워크 응용에서 센서의 배터리 전력 유지 및 환경 정보 획득 방법을 설계할 때, 주요한 사안으로 고려되고 있다.

이 논문에서는 센서의 전력소비를 줄이고 대기 오염에 대한 정보를 오염 발생 시간에 따라 적절히 획득하기 위하여, 대기 오염 방지 시스템에서의 센서 샘플링 주기 조정 기법을 제안한다. 제안된 기법은 대기 오염의 현재와 가까운 미래의 상태를 기반으로 센서의 샘플링 주기가 변화하는 규칙과 경계, 가중치를 설정한다. 그리고 매 샘플링 주기마다 센서 데이터 값과 이전에 저장된 오염 레벨을 고려하여 다음 샘플링 주기를 갱신한다. 이렇게 변화하는 샘플링 주기로 인해 대기 오염 감시 시스템은 측정 데이터의 정확도와 센서의 배터리 전력 소비의 균형을 적절히 유지할 수 있다. 제안된 샘플링 주기 기법은 다양한 환경 감시 응용에 활용될 수 있다.

1. 서론

실 세계의 환경 정보를 획득하는 센서 및 센서 네트워크 기술이 진보하고, 소형화되는 무선기기와 함께 무선 통신 기술이 발달하면서, 환경오염, 터널 및 건축물의 붕괴, 홍수, 태풍, 지진 등의 재난에 대비하기 위한 재해 감시 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

시스템에서 센서 네트워크는 센싱 기능과 정보 처리 능력, 그리고 통신 능력을 가진 다수의 센서 노드들로 구성되며, 특히 사용자가 원하는 서비스 영역에 배치된 후 자동적으로 ad-hoc 네트워크를 형성한 후 필요한 정보를 수집 및 처리를 통하여 응용 서비스를 제공하는 역할을 한다. 센서 네트워크를 통해서 할 수 있는 일로는, 센서 네트워크내의 단순한 온도, 조도, 및 습도 감지만 아니라, 차량의 이동 탐지 및 인접 센서 노드간의 협동 작업을 통해서 속도나 방향의 추측 기능, 나아가 고성능 이미지 처리 기능을 통한 차량의 종류 인식 및 트래킹 기능과 같은 고급 기능을 포함한다. 또한 주변 사물에 전자 태그를 부착하여 사물과 환경을 인식하고, 네트워크를 통해서 실시간 정보를 구축하고 활용함으로써 동물관리 시스템이나

홈 네트워크, 병원환자 관리, 공해 및 생태계 감시, 전장정보 분석 및 정찰, 물류 유통 관리, 등 다양한 분야에서 활용이 가능하다.

특히, 문명의 발달에 따라 환경오염이 심각해지면서 대기 오염, 수질 오염에 따른 환경 변화를 실시간으로 파악할 필요성이 커지고 있다. 오염 감시를 위해 산림이나 공장지대, 하천변 등에 포설된 센서들은 센서들간의 라우팅을 통하여 센싱 데이터를 집중화기까지 전달되며 인터넷을 통해 중앙의 관제센터까지 전달된다. 현재 상태를 측정하고 전달하는 센서를 오래도록 유지하기 위해서는 센서에 부착된 배터리 전력을 낭비하지 않아야 한다. 이때, 센서의 샘플링 주기에 따라 센서 측정 값과 배터리 전력 사이에는 상충관계(trade off)가 생긴다. 예를 들어, 센서의 샘플링 주기가 2초, 5초 간격으로 짧을 경우, 현재 상태를 매우 자세하게 측정할 수 있다. 하지만, 데이터를 측정하고 전송하는데 따른 배터리의 전력이 매우 빠르게 소모되며 센서를 오래 유지하기 어렵게 된다. 이와는 반대로 샘플링 주기가 12시간, 24시간처럼 길 경우, 현재 상태는 조금씩 측정하지만, 데이터 측정 및 전송에 대한 전력 낭비

가 적기 때문에, 센서를 오래 유지 할 수 있다.

태풍, 홍수, 지진, 대기 오염, 등 실 세계의 재해 및 사건은 대부분 특정 시간 간격에서 일어나는 특징이 있다. 그리고 이 특정 시간을 제외한 나머지 시간에는 정상적 상태가 유지된다. 따라서 대기 오염이 일어나는 경우에는 센서의 샘플링 주기를 짧게 조정하여 대기 오염을 방지하기 위한 노력에 집중하고, 그 외에 정상적인 경우에는 센서의 샘플링 주기를 길게 함으로서 센서의 배터리 전력 소비를 줄일 수 있다. 이와 같이 대기 오염의 상태를 자세하게 측정하면서 센서의 전력 소비를 적절하게 줄이기 위하여, 이 논문에서는 대기 오염 감시 시스템에서 대기 오염 위험도를 계산하고, 이에 따른 센서 샘플링 주기 조정에 대한 시나리오와 주기 조정 기법을 제안한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 센서 웹, 센서 네트워크 응용, 등의 관련연구를 소개한다. 3장에서는 이 논문에서 활용한 대기 오염 감시 시스템을 기술한다. 4장에서는 이 논문에서 제시한 센서 샘플링 주기 조정 기법을 설명하고, 5장에서는 대기 오염에 대한 가상의 데이터를 활용하여 샘플링 주기를 조정하는 실험 결과를 보이고, 6장에서는 결론을 맺는다.

2. 관련연구

센서 네트워크는 인간이 감시하기 어려운 넓은 지역이나 오랜시간의 감시가 필요한 지역에 다양하게 활용되며, 센서 네트워크를 활용하는 환경 응용은 지구 과학과 환경에 대한 이해와 센서, 정보 통신, 컴퓨팅 기술의 융합을 요구한다 [1, 2]. 환경 관측 및 정보 시스템 (Environment Observation and Forecasting System, EOFs)은 환경 감시 및 경보를 위한 대용량의 센서 네트워크 연구 중 하나이다 [3]. EOFs의 특성으로는 중앙 처리 방식, 대용량의 데이터 처리, 다양한 연산자, 등이 있다. 그 밖에 센서 웹 (Sensor Web) [4], 기후 감시 (microclimate monitoring) [5], 바다새 감시 (habitat monitoring) [6], 빙하의 이동 감시 (GlacsWeb project) [7], 희귀 식물종 감시 (PODS project), 등이 있다.

SensorWeb은 World Wide Web을 거쳐 웹과 인터넷 접근이 가능한 센서 및 도구 그리고 탐지 기기들을 언제 어디서라도 활용하고 제어하는데 그 목적이 있고, 그 비전으로는 "plug-and-play"가 가능한 웹 기반 센서 네트워크를 위한 표준 기반을 정의하고 활용하는 것이다. OGC에서 sensorWeb을 위해 연구하는 서비스 및 표준으로는 아래와 같은 연구를 포함하고 있다.

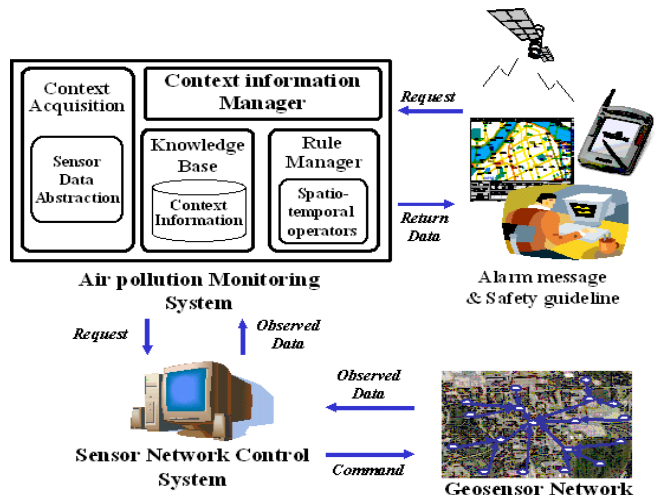
- SensorML - 웹에 등록된 센서들을 탐색하고, 작업을 할당하여 이용하기 위해 센서의 정보를 XML 형태로 저장하는 정보 모델
- Observations & Measurements - 센서의 관측값과 측정값을 기록하기 위한 정보 모델

- TransducerML - 센서 시스템으로부터 스트림 데이터를 전송하기 위한 포맷
- Sensor Observation Service - 센서 및 센서 집합으로부터 관측값을 가져오는 서비스, 이 서비스는 사용자와 관측 저장소 혹은 실시간(거의 실시간) 센서 채널사이의 중간 매개 서비스
- Sensor Planning Service - 사용자가 수집 실행 계획을 센서로 전달하는 서비스, 센서나 센서 집합으로부터 데이터를 어떻게 얻을 것인지 정할 수 있다. 사용자와 센서 집합 관리 환경의 중간 매개 서비스
- Sensor Alert Service - 센서 시스템으로부터 경보를 발하게 하기 위해 발표와 예약을 지원하기 위한 서비스

기후 감시 (microclimate monitoring) 연구 [5]는 거대한 나무들의 수에 따른 조도, 습도, 기온, 압력, 등의 기후 데이터를 체크한다. 바다새 감시 (habitat monitoring) 응용 [6]은 생태계 모니터링을 위한 시스템 구조, 센서의 속성 정보, 등 바다새를 감시하기 위한 다양한 요구사항 들을 토론한다. 빙하의 이동 감시 (GlacsWeb project) 연구 [7]는 지구의 기후를 이해하기 위해, 빙하 속에 센서를 설치하고, 빙하의 이동을 감시한다. 희귀 식물종 감시 연구 (PODS project)는 화산 분화구 근처에서 희귀하고 위험한 몇몇 식물 종을 고 해상도 카메라와 온도, 조도 센서, 등을 통해 감시한다. EnviSense-SECOAS [8]는 작은 섬 주변의 해안선 변화를 감시한다. 이렇게 많은 환경 응용에서 센서 네트워크를 활용하여 연구를 수행하고 있다. 그러나 이들 대부분의 응용에서는 아직 센서 샘플링 주기 변화에 대한 연구가 많지 않다.

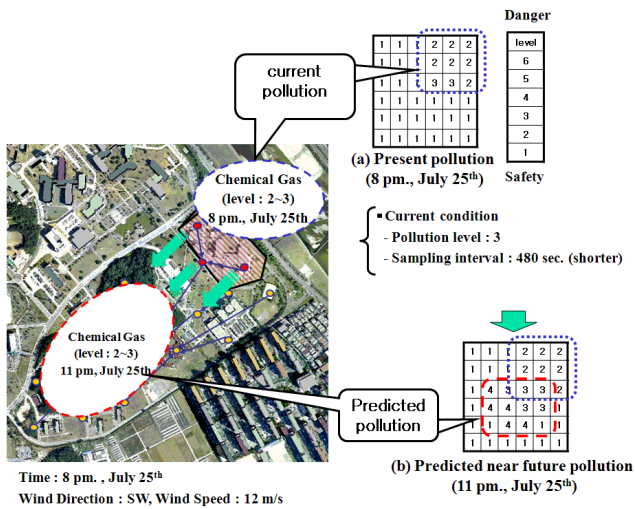
3. 대기 환경 모니터링 시스템

이 논문에서 활용한 대기 오염 감시 시스템 [9]은 실의 In-situ 센서 네트워크 및 데이터베이스에 저장된 공간 정보를 활용한다.



(그림 1) 대기 오염 감시 시스템 구성도

실외에 설치된 센서네트워크로부터 미세먼지, 온도, 조도, 습도, 이산화탄소, 풍속, 풍향, 등 실외 환경 상태에 대한 측정값을 얻어, 현재와 가까운 미래의 오염 지역을 추정한다. 이 시스템의 센서 데이터 처리 과정은 5 단계로 이루어져 있는데, 1 단계의 물리적 센서에서 비롯된 원시 아날로그 값에서 2 단계를 거쳐 정형화된 디지털 값으로 변환되고, 3 단계에서 정형화된 값을 기반으로 의미 정보를 분석한다. 여기서 현재 센서 값을 토대로 규칙 처리를 통해 대기 오염 정도를 체크한다. 4 단계에서는 현재 오염 지역 및 향후 오염 지역을 추정하고, 5 단계에서는 이들 정보를 기반으로 재해 정보 및 예보를 발령하고 재해 방지 서비스를 제공한다.



(그림 2) 재해 방지 시나리오 - 미세 먼지 오염

그림 2는 미세 먼지 센서에서 보내온 측정 값이 대기 오염 수치에 다달았을 때, 가까운 미래의 오염 지역을 풍향, 풍속, 등을 고려하여 추정한 그림이다. 이 때, 특정 시간(t) 후의 예측 위험도 [9]는 아래와 같이 계산되어진다.

$$\text{예측 위험도}(t) = \text{센서 예측 값}(t) * \text{지역 중요도} * \text{증감 값} * \text{임계값 도달 확률} * a$$

예측 위험도 식은 현재 센서 값이 특정 시간 t후의 추정 값과 해당 지역의 중요도, 센서 측정 값의 증감과 임계값 도달 확률, 그리고, 위험도에 대한 상수 a를 고려하였다. 이렇게 가까운 미래의 위험 지역과 그 오염 정도를 추정하고, 그 위험도와 반 비례하도록 해당 지역의 센서 샘플링 주기를 지정한다. 이 과정이 센서 측정 값이 대기 오염 위험도에 가까워 질 수 있다고 추정된 셀 (지역)과 그 주변 셀들에서 반복되어 수행되어지고, 그 결과가 통합되어 현재 및 가까운 미래의 대기 오염 지역과 위험 정도가 사용자에게 제공된다.

4. 샘플링 주기 조정 기법

대기 오염 감시 시스템에서의 센서 샘플링 주기는 3장의 위험 예측도에서 현재 대기 오염 레벨을 계산한 후, 아래와 같이 샘플링 주기를 설정한다.

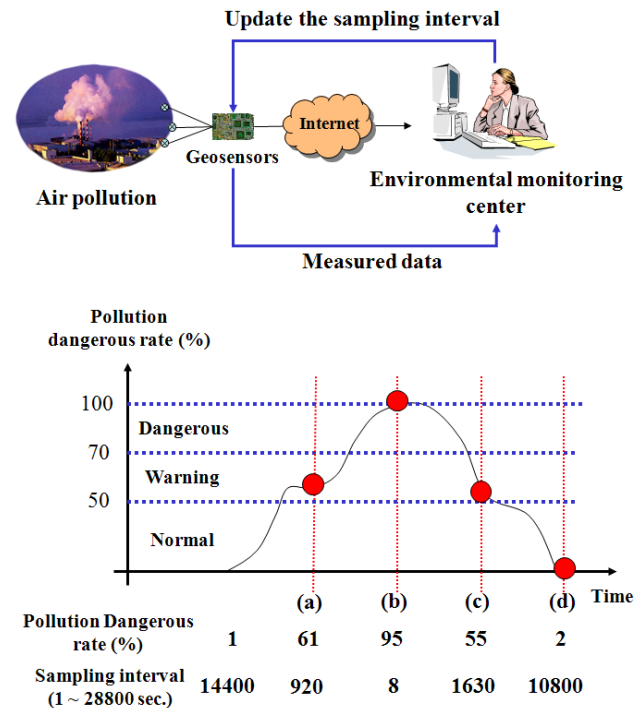
$$\text{샘플링 주기} = \text{현재 샘플링 주기} * \text{대기 오염 레벨에 따른 기본 샘플링 주기 및 가중치} * \text{샘플링 증감} * b$$

이 때 사용하는 위험 예측도에 따른 샘플링 주기는 <표 1>의 관계에서 유도된다.

<표 1> 위험 예측도와 샘플링 주기와의 관계

Condition	Dangerous rate (%)	Sampling interval (sec.)
dangerous	70~100	8 - 480
Warning	50~70	480~1920
Normal	0~50	1920~28800

이 샘플링 주기는 그림 3의 대기 오염에 따른 샘플링 주기 변환 과정을 거치면서 매 샘플링 주기마다 반복해서 계산된다.



(그림 3) 대기 오염에 따른 샘플링 주기 조정 과정

그림 3은 대기 오염 중 미세먼지에 의한 환경오염이 발생한 경우에, 오염지역의 센서 샘플링 주기를 변환하는 과정을 보여준다. 현재 상태는 그림 2처럼 미세먼지가 위험 단계 2~3 단계로 발생하고, 남서풍이 초속 12m/s로 부는 상황이다.

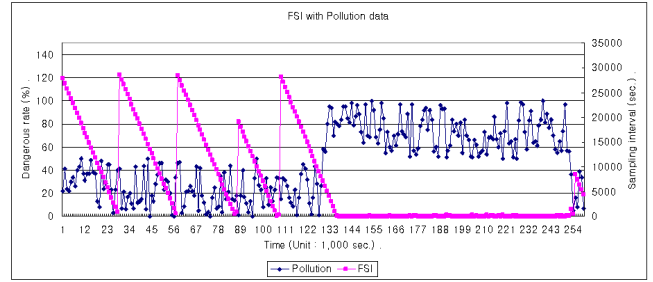
(a) 먼저, 대기 오염이 발생하기 1시간 전에 특정 센서에서 미세먼지가 증가하는 것을 감지하고, 앞으로 미세 오염이 심하게 이루어질 수 있다는 예보를 발령한다. 이때, 재해에 대한 위험이 예측되면 보다 정확한 정보를 얻기 위하여 샘플링 간격을 짧게 설정한다. (14400 초 → 920 초)

(b) 1시간 전인 (a)에 미리 대기 오염 예보를 발령된 후, 일부 현재 센서 데이터가 위험 단계로 진입한 상황이다. 재해 방지 시스템은 입력받은 센서 데이터가 저장된 규칙을 만족하는지 검토한 후, 재해에 대한 종류 및 위험 단계를 판단한다. 현재 위험 지역을 분석하고, 대기 오염 주의보를 발령한다. 샘플링 주기는 현재 상황의 자세한 분석을 위해 보다 짧게 설정된다. (920 초 → 8 초)

(c) 특정 지역들에 대기 오염 주의보를 발령한 (b) 이후, 미세먼지 양이 점점 감소하는 것이 확인된다. 아직 경계를 늦출 수는 없지만, (b) 처럼 자세한 현재 정보가 필요없기 때문에, 샘플링 주기를 길게 설정한다. (8초 → 1630초). 이때, (a) 보다 샘플링 주기가 긴 이유는 센서 데이터 값이 지속적으로 감소하여, 가중치가 변환되었기 때문이다.

5. 실험 및 평가

이 장에서는 대기 오염 감시 시스템 [9]과 가상의 미세먼지 측정 값을 사용하여 제시한 센서 샘플링 주기 조정 기법을 실험하였다. 대기 오염 감시 시스템에서 오염으로 판단되는 미세먼지 값을 수신하면, 그림 4와 같이 대기 오염 경보가 발생한다.



(그림 5) 센서 샘플링 주기 조정 결과

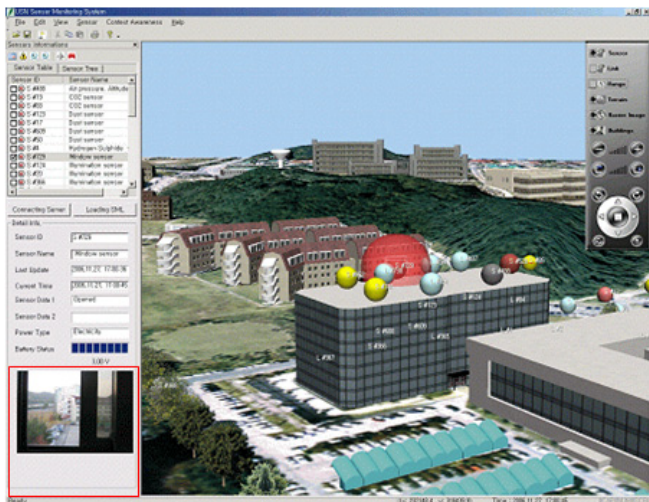
그림 5와 같이 샘플링 주기가 변화되어 센서의 배터리 전력 소모를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 대기 오염이 발생했을 때, 효과적으로 오염 상태를 측정할 수 있다.

5. 결론

이 논문에서는 센서 네트워크를 활용한 환경 감시 시스템에서 센서의 전력소비를 줄이고, 대기 오염에 대한 정보를 오염 발생 정도에 따라 적절히 획득하기 위하여 센서 샘플링 주기 조정 기법이 제시되고, 효과적임을 보였다. 앞으로는 보다 다양한 환경에서 제시된 샘플링 조정 기법을 실험할 예정이다.

참고문헌

[1] Ilka A. R., Gilberto C., Renato A., Antônio M. V. M., "Data-Aware Clustering for Geosensor Networks Data Collection," Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, pp. 6059-6066, 2007.
 [2] Martinez, K., Hart, J. K., Ong, R., "Environmental Sensor Networks," IEEE Computer, 37(8), pp. 50-56, 2004.
 [3] Xu, N. "A Survey of Sensor Network Applications," IEEE Communications Magazine, 40(8), pp.102-114, 2002.
 [4] Mike Botts, "Sensor Web Enablement," <http://www.opengeospatial.org/press/>, August 17, 2005.
 [5] Culler, D., Estrin, D., Srivastava, "M. Overview of Sensor Networks," IEEE Computer, 37(8) p. 41-49, 2004.
 [6] Mainwaring, A., Polastre, J., Szewczyk, R., Culler, D., Anderson, J. "Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring," ACM Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, EUA, pp. 88-97, 2002.
 [7] Hart J. K., Rose J., "Approaches to the study of glacier bed deformation," Quaternary International, Vol. 86, pp. 45-58, 2001.
 [8] Envisense-Secoas, Self-organizing Collegiate Sensor Networks, <http://envisense.org/secoas.htm>.
 [9] 정영진, 김학철, 류근호, "실외 센서네트워크 기반 재해방지 시스템을 위한 위험지역 예측기법," 한국정보처리학회논문지D, 13D(6), pp. 775-788, 2006



(그림 4) 대기 오염 경보

이때, 대기 오염을 효과적으로 감지하고 관리 하기 위한 샘플링 주기는 그림 5와 같이 변환된다. 왼쪽의 정상적인 경우는 샘플링 주기가 매우 길지만, 대기 오염이 시작됨에 따라 오른쪽과 같이 샘플링 주기가 짧아짐을 확인할 수 있다.