

무선 센서 네트워크에서 실시간 데이터 처리를 이용한 시공간 분석 (Spatio-temporal Analysis using Real-Time Data Processing for Wireless Sensor Networks)

백 정 호 [†] 문 영 채 [†]
(JeongHo Baek) (YoungChae Mun)

이 흥 로 ^{**}
(HongRo Lee)

요 약 무선센서네트워크 시스템들은 응용 어플리케이션에서 많은 노드들이 처리하고 분석하기 위해 요청한 실시간 센서 데이터를 수집하고 분석한다. 본 논문에서는 전라북도 군산시 지역에 여러 요소의 무선센서네트워크 클러스터를 구축하였다. 구축된 시스템을 이용하여 측정된 실시간 데이터를 도형화하고 분석하여 변화의 결과를 도출하고자 한다. 결과로 나온 분석 내용은 데이터의 시간적인 변화량과 공간적인 변화량 그리고 진행 방향성에 대해 시각적으로 나타내어 해석하기 쉬운 형태의 데이터를 생성한다. 이러한 분석 방법은 무선센서네트워크를 사용하여 분석하는 많은 사람들에게 보다 편리하게 해 줄 것이다.

키워드 : 시공간분석, 실시간, GIS, 센서네트워크

Abstract Wireless sensor network system collects and analyzes real-time data that have been requested by the many application nodes. This paper has constructed

a sensor network cluster with various elements in the Gunsan City area of Jeollabuk-do, S.korea. The purpose of this paper is to utilize the constructed system in order to illustrate the real-time data in a diagram and analyze it to deduce the change ratio. The resulting analysis contents allow simple data interpretation by illustrating the data in change ratio by time, space, and motional directions. This analytical method will offer great benefit to those users using the wireless sensor network.

Key words : Spatio-Temporal Analysis, Real-time, GIS, Sensor Network

1. 서론

센서네트워크의 가장 대표적인 응용은 지리정보시스템(GIS), 화학, 물리, 대기, 수질 및 휴먼 컴퓨팅 등과 같이 변화가 생기는 지점에서 다양한 센서들이 센싱된 데이터를 수집하고, 네트워크나 인터넷을 통해 데이터를 필요로 하는 사용자에게 전달해 주는 형태이다. 센서네트워크 시스템에서는 사용자가 원하는 정보를 요청하면, 그에 해당하는 데이터를 전송한다. 이 때 전송되는 데이터는 사용자에게 원 데이터를 전송하기도 하지만 여러 응용 미들웨어를 통해서 처리되고 분석된 데이터를 전송하기도 한다.

본 논문에서는 무선센서네트워크와 GIS를 이용하여 시공간적인 처리와 분석을 하고 사용자에게 실시간적인 정보를 전달하는 방법에 대해서 논의한다. 이러한 정보 전달 방법을 설계하기 위해서 데이터의 측정 영역을 선택하여 무선센서네트워크를 구성하였다. 우리는 구성된 무선센서네트워크를 통해 센싱된 데이터를 수집, 처리, 분석 그리고 전송하는 프로그램을 개발하였다.

본 논문은 총 6절로 구성되어 있다. 2절에서는 센서네트워크와 GIS를 이용한 기술들에 관하여 설명하고 3절에서는 논문에서 제안하는 시공간 변화 분석 방법을 설명한다. 4절에서는 데이터를 처리하고 분석하는 과정을 설명하고 5절에서는 처리 및 분석한 내용을 가지고 실험한다. 마지막으로 6절에서는 결론을 맺고 향후 연구 방향에 대해 언급하도록 하겠다.

2. 관련 연구

무선센서네트워크에서 사용되는IEEE 802.15.4a 표준은 무선 물리적 레이어에서 정밀한 범위를 사용하기 위한 첫 국제표준이다. Zafer Sahinouglu와 Sinan Gezici는 이 논문에서 IEEE 802.15.4a의 기본 범위와 패킷구조 그리고 프로토콜의 범위에 대해서 설명하였다[1].

무선센서네트워크를 이용하여 도시지역의 환경변화에 대해 모니터링 하고 분석하는 연구[2]가 진행되었다. 이 연구에서는 런던 도시지역의 출퇴근 시간에 따라서 공

· 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임

· 이 논문은 제36회 추계학술발표회에서 'GIS와 실시간 데이터 처리를 기반한 무선센서네트워크 시공간 분석'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

[†] 비 회 원 : 군산대학교 컴퓨터정보공학과

firstleon@kunsan.ac.kr
mun0chae@kunsan.ac.kr

^{**} 종신회원 : 군산대학교 컴퓨터정보공학과 교수

leehongro@kunsan.ac.kr

논문접수 : 2009년 12월 23일

심사완료 : 2010년 3월 2일

Copyright©2010 한국정보과학회: 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

기 오염도가 집중되는 현상이 있었다. 이곳에 무선센서 네트워크를 구성하여 실시간측정을 하였고, 마이닝기법을 적용하여 데이터에 기반한 시간과 오염도를 분석하였다. 이 연구에서는 측정과 분석이 동시에 실시간으로 이루어지지 않고 각각 따로 이루어졌다.

ANDES[3]는 설계자가 시스템 매개변수를 조정하여 시스템을 개발할 수 있게 해주고 필요한 시스템 성능에 따라 주요 설계를 결정할 수 있게 한다. 또한 실시간 스트림 데이터의 분석 및 네트워크 토폴로지에 관한 정보를 활용하여 분석결과를 표현하기도 한다. 이러한 방법으로 무선 센서네트워크 시스템을 위한 분석기반 설계 도구를 개발했다. 이러한 연구는 향후 센서네트워크를 이용하여 시스템 개발을 할 때 사용자에게 능률적인 설계의 모델이 될 것이다.

GIS을 이용하여 데이터를 분석하는 연구가 있었다. 위성영상의 광학적인 특성을 이용하여 인도 해양 대기 기후에 대한 분석[4]을 하였다. 이러한 연구는 위성영상을 이용하여 실시간 처리 및 분석이 미흡한 점이 있다.

이전에 연구된 논문에서는 광범위 하게 들어오는 센서네트워크 데이터를 보간법을 이용한 맵을 통하여 모니터링 및 분석을 하고 데이터 정확성과 에너지의 절약을 능률적[5]으로 하는 방법에 대한 연구가 있었다. 이 논문에서는 시공간 데이터를 네트워크의 글로벌 픽처로 표현하였고, 분석툴을 사용하여 잘못된 센서들의 검출을 하였으며, 네트워크상에서 전송과 저장 그리고 처리하는데 있어 여러 종류의 오차를 줄이는 방법들에 대해 통합한 연구를 하였다.

GIS를 이용하여 지도공간에서 의미있는 데이터 분포도를 회귀모델과 크리깅 보간법을 사용하여 기후학에 대한 연구[6]를 하였다. 여기에서는 간단한 회귀모델과 크리깅 보간법을 통해 모든 계절에서 정확한 결과를 얻었다.

3. 시공간 변화 분석

전통적으로 센서네트워크 시스템들은 데이터의 모니터링에 주로 활용되어 왔다[4-6]. 현장에서 측정되는 데이터를 토대로 단순히 측정 상황이 어떻게 변하는가를 목적으로 측정되었다. 이후에 다양한 응용으로 확장되어 데이터의 측정 상황뿐만 아니라 현장 상황 변화를 대처하는 시스템으로 발전되어 왔다.

본 논문에서는 센서네트워크를 GIS와 연계하여 측정 지역의 안에서 발생하는 여러 변화들을 센싱을 통해 해당 지역에 얼마만큼의 양과 시간에 따라 어느 방향으로 영향을 미치는가를 알아보는 방법에 대해 연구했다.

본 논문에서는 그림 1과 같이 센서데이터를 GIS와 연동[5]하였다. 후에 센서네트워크에서 나온 데이터의 시간적인 요소와 GIS의 공간적인 요소를 결합하여 시공

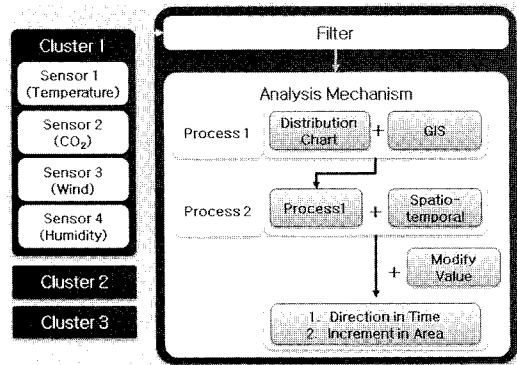


그림 1 데이터 처리 흐름도

간적인 데이터를 추출하여 면적 변화를 분석하였다.

정의 1. 면적 변화율(ACR: Area Change Ratio)

면적 변화율은 무선 센서네트워크 데이터와 GIS를 이용하여 데이터 분포도를 작성한 후 데이터 분포도의 면적량이 변화는 정도를 나타낸다.

$$ACR = \{WSN, GIS, S, DC, Interval\} \quad (1)$$

$$Distribute Chart (DC) = \{WSN, GIS\} \quad (2)$$

$$Area(S) = \{DC, GIS\} \quad (3)$$

$$Interval (k) = \{Time, Number, Custom\} \quad (4)$$

$$ACR = \frac{1}{k-1} \sum_{k=2}^n \left(\frac{S_k - S_{k-1}}{S_{k-1}} \right), S_{k-1} \neq 0 \quad (5)$$

(k=데이터가 측정된 순서, S=데이터 분포도 면적값)

이러한 면적의 변화를 연구한 이유는 변화하는 데이터가 양적으로 얼마나 변화되었는지를 알아볼 수 있고 어느 방향으로 진행되어 상태가 변화되는지도 알 수 있기 때문이다. 이러한 면적의 변화율은 측정 포인트의 중심점을 기준으로 공간적인 방향성을 정한다. 이것은 면적의 변화가 전혀 없더라도 데이터의 중심이 변화 될 수 있기 때문이다. 예를 들어 데이터의 중심은 동쪽에서 서쪽으로 변화하였지만 데이터 면적의 계산량은 변화 없을 수가 있기 때문이다.

정의 2. 시공간적 변화 분석(SPA: Spatio-Temporal Analysis)

$$SPA = \{WSN, GIS, Interval, ACR\} \quad (6)$$

$$Time Change Value (TCV) = \{Interval, S\} \quad (7)$$

$$Space Change Value (SCV) = \{GIS, DC, Interval\} \quad (8)$$

시공간적 변화 분석은 데이터의 센싱 주기와 GIS 좌표 체계 그리고 면적 변화율을 이용하여 데이터 주기의 연속성에 따른 데이터 변화를 분석하고 GIS의 좌표와

연계하여 데이터 변화 방향성을 분석한다. 시공간적 변화 분석에 대한 기준은 정의 2의 식 (6)과 같이 정의한다. 시공간적 변화 분석은 각각 시간적인 변화값과 공간적인 변화값을 가진다. 시간적인 변화값은 식 (7)과 같이 센서데이터의 주기와 면적량을 통해 이루어진다. 측정되는 주기에 따라 변화하는 면적량을 알아 볼 수 있다. 그리고 공간적인 변화값은 식 (8)과 같이 주기에 따른 면적변화가 GIS좌표에 의해 어느 방향으로 변화되는가를 알아볼 수 있다.

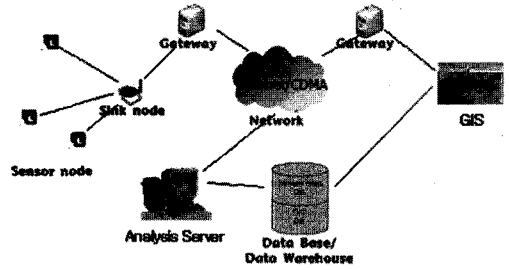


그림 3 시스템 구성도

4. 데이터 처리 및 분석

4.1 실험 데이터 처리

본 논문에서는 전라북도 군산시 산업공단지역과 새만금 방조제 그리고 군산시 도심지에서 샘플 데이터를 측정하였다. 샘플 데이터 측정은 대기과 수질 각각의 클러스터를 구성하여 데이터를 수집하였다. 샘플 데이터를 측정한 공간적인 위치의 좌표의 범위는 북위 35도 57분 19초 에서 35도 57분 40초까지이고 동경 126도 34분 39초에서 126도 35분 10초까지이다. 해당지역은 1991년 11월에 시작된 대단위 간척공사지역인 새만금 지역의 공단지역으로 수많은 기업들이 입주를 시작하여 공장을 가동 중이다. 따라서, 각 공장 및 기타 요소들에 의해 환경적인 요소의 변화가 심하게 일어난다. 또한 산업공단으로 인해 급격한 산업화가 일어나고 있다. 그래서 다양한 환경적인 변화로 인해 데이터 측정을 위한 그림 2의 지역으로 선정하였다.

HEAD	NMS	Sensor information				Modem	Frame	TAIL
1byte	24byte	24b	...	24b	11byte	3byte	1byte	
#	check	ID 1	...	ID N	number	length	#	
2	2	2	2	2	2	2	8	2
Event	ID	Year	Month	Day	Hour	Min	data	Kind
00~99	01~99	2byte ASCII						

그림 4 센서 스트림 데이터 패킷 구조도

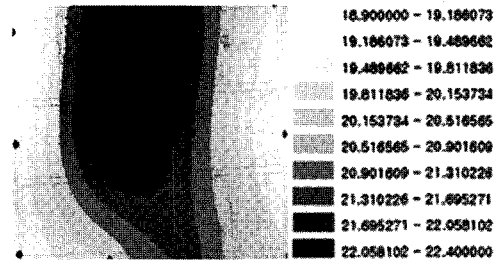


그림 5 센서 데이터 분포도

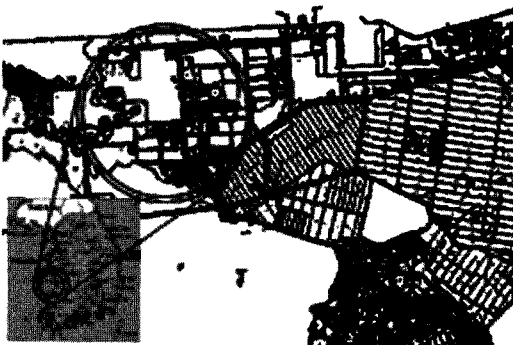


그림 2 데이터 측정 위치도

그림 3과 같이 시스템 구성도를 구성하였다. 대기 클러스터는 대기온도, 습도, CO₂, 풍향, 풍속, 일사량, 미세먼지 등으로 구성되어 있다. 통신에는IEEE 802.15.4 그룹의 통신 표준을 이용하였다. 근거리 통신망은 멀티홉 방식으로 구성되어 24개의 Sensor Node로 구성하였다. 원거리 통신에는 CDMA12개 이용하여 데이터 수집 및 서버로 전송하는 역할을 하게 구성하였다.

그림 4는 센서 데이터의 패킷의 구조도이다. 이와 같은 패킷 구조를 통해 센서 데이터가 수집 및 전송이 된다.

데이터의 수집 및 전송이 끝난 후에 GIS와 연계하여 데이터 분포도로 표현하는 데이터 처리를 해주어야 한다. 아스키 형태로 들어오는 센서데이터들을 가지고 보간법의 통계적인 방법으로 분포도를 그려준다. 이와 같이 분포도가 완성되면 그림 5와 같이 GIS데이터 위에 오버랩한다.

본 논문에서는 데이터 분포도를 그리는데 있어 Krig 보간법[6]을 사용하였다. 기 사용된 논문을 인용하였으며 이러한 보간법으로 인한 데이터의 정확성과 센서 노드들의 위치와 거리의 타당성에 대해서는 언급하지 않겠다. 단지 이러한 기법을 이용하여 데이터의 변화, 즉 시공간적인 분석을 하는데 초점을 맞췄다.

그림 5와 같이 샘플 데이터를 통해 처리된 데이터 분포도와 GIS에서 "TempData" >'19 AND "TempData" <'23'이라는 공간연산을 수행하는데 이러한 공간연산은 처리된 데이터 분포도에서 값에 대한 경계를 추출하게

된다. 공간 연산에 의한 값의 추출은 GIS좌표와 연동하여 변화하는 데이터 분포도의 면적량을 산출한다. 데이터 분포도의 면적량을 통한 분석은 GIS와 연계되어 변화의 범위가 얼마만큼 확산이 되고 어느 방향으로 진행이 되어가는지를 알 수 있게 한다. 면적량의 중심점은 측정된 지역의 중심으로 지정된다.

4.2 실험 데이터 분석

본 논문에서는 데이터의 분석을 위해 면적변화율을 일 변화하였다. 면적변화율은 GIS와 연계한 데이터 분포도를 기반으로 센서네트워크부터 들어온 실시간 데이터를 각각의 주기별로 나타낸 후 수치를 평균화 한 것으로 시간과 공간에 대한 분석변화를 알기 쉽게 표현해주는 데 도움을 준다. 면적변화율을 구하게 되면 면적 변화량의 평균 기울기를 알 수 있게 된다. 데이터면적변화율은 해당주기에 따라 면적의 변화를 연산한 것으로 주기가 0일 때 면적변화량이 0이 된다. 따라서 실시간으로 들어오는 데이터를 GIS에 적용하여 데이터 분포도를 그리면 시간에 따른 데이터의 면적량을 알게 되고 점차 시간적으로 그리고 공간적으로 데이터의 변화량을 알 수 있게 된다. 이러한 데이터의 변화량을 통한 분석은 의사결정자들이 원하는 결과를 도출하는데 많은 도움이 될 것이라 생각된다. 이러한 면적변화를 이용하여 앞에서 언급한 시간적인 변화량과 공간적인 변화량에 대해 분석할 수 있게 된다. 센싱된 데이터가 일정주기마다 면적량을 통해 변화되는 것을 알 수 있게 되고 이러한 면적량이 GIS의 좌표 시스템과 연동하여 면적량의 변화와 방향성에 대해서 분석할 수 있게 된다. 예를 들자면 센싱된 지역에서의 데이터 증가나 감소가 이루어져 분석 결과로 동쪽으로 증가추세를 보여지고 있는 것을 들 수 있다.

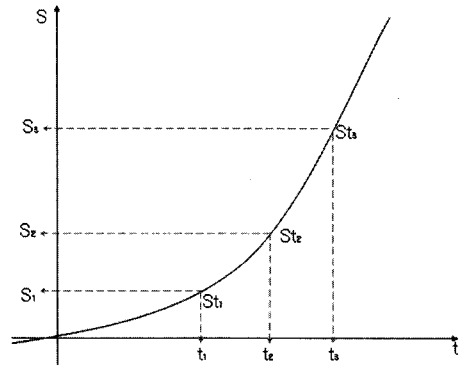


그림 6 실시간 데이터의 시간적인 변화량

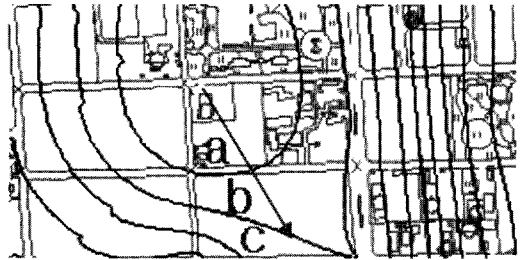


그림 7 실시간 데이터의 공간적인 변화량

간이 흘러갈수록 면적의 변화는 아래 그림처럼 점점 늘어나게 된다. 이처럼 시간에 따라 데이터 면적량의 양이 변화하는 것을 알 수 있다.

공간적인 변화량은 아래 그림 7과 같다. 데이터의 변화량은 a, b, c 처럼 각각 a보다는 b가 더 크게 증가되어 있고 b보다는 c가 더 크게 증가되어 있는 것을 볼 수 있다. 증가량 또한 방향별로 보면 a에서 b 그리고 c로 갈수록 남동 방향으로 점점 증가하고 있는 것을 볼 수 있다.

- | |
|---|
| <p>Rule 1</p> <ul style="list-style-type: none"> - $ACR > 0$ - 시간에 따라 해당 지역의 변화량 증가 - 공간적인 변화량 증가 <p>Rule 2</p> <ul style="list-style-type: none"> - $ACR = 0$ - 시간에 따라 해당 지역의 변화량 없음 - 공간적인 변화량이 없음 <p>Rule 3</p> <ul style="list-style-type: none"> - $ACR < 0$ - 시간에 따라 해당 지역의 변화량 감소 - 공간적인 변화량 감소 |
|---|

5. 실험 결과

본 논문에서는 데이터 면적변화율에 따른 데이터의 시공간적 분석결과를 도출하였다. 먼저 샘플 데이터를 토대로 시공간적 분석결과를 살펴보고 이에 따른 결과값들을 분석하였다.

첫째로 우리는 그림 8과 같이 실시간으로 들어오는 데이터중 2가지 항목, 온도와 습도에 대해 데이터 분포도를 그린 후 그림 9와 같이 데이터 면적 변화량을 살펴 보았다. 그리고 면적이 증가와 감소되어가는 방향성을 체크 하였다. 본 논문에서 측정된 무선센서네트워크의 실시간 데이터는 시간이 반복됨에 따라 증가하였다가 다시 감소하는 그래프로 반복된다. 우리는 데이터 분포도를 통한 명확한 표현을 위해 증가하는 구간 또는 감소하는 구간을 선택하여 실험하였다.

시간적인 변화량은 다음 그림 6과 같다. 처음 시간대에 측정된 데이터를 t1라 하고 이때의 면적량을 St1라 한다. 다음 시간대에 측정된 데이터를 t2라 하고 이때의 면적량을 St2라 한다. 마지막 측정된 값의 시간대를 t3라 하고 이때의 면적량을 St3라 한다. t1에서 t3까지 시

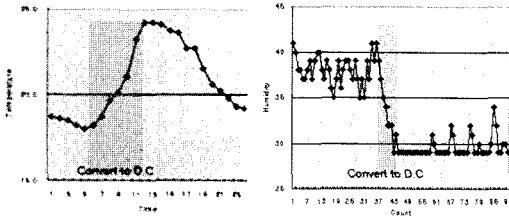


그림 8 온도와 습도의 시간적인 변화량 그래프

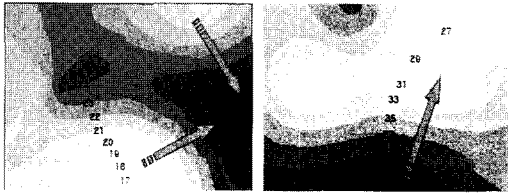


그림 9 온도와 습도의 공간적인 변화량 분포도

본 논문에서는 실험 결과들을 정리하여 샘플 데이터중 온도값을 통해 데이터 분포도를 이용한 면적 변화율에 대한 분석결과를 도출하였다. 2006년 4월, 2007년 4월, 2008년 4월중 1일 주기로 온도값을 측정하였다. 샘플 데이터 측정에서 평균값들은 각각 10.6, 10.9, 12.7가 나왔다. 이 중 10도에서 12 사이의 데이터를 공간연산 하여 추출하였다. 그림 10은 나온 온도 샘플 데이터를 가지고 데이터 분포도를 그려 GIS와 연동시켜 면적을 구하였다. 면적분포도 평균으로 각각 252347, 489791, 790856이 나왔다.

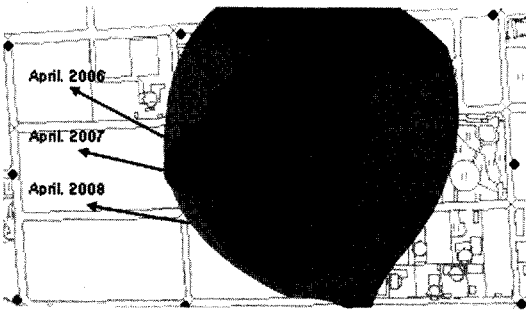


그림 10 년도별 온도 공간적인 변화량 분포도

위의 온도값과 면적량을 분석한 결과로 2006년에서 2008년까지 평균온도로 면적량과 데이터 이동의 변화를 분석해 봤더니 측정된 데이터는 매년 동쪽 방향으로 약간씩 이동하였고 중심점(O)을 기준으로 전체적으로 확장되어가는 공간방향성을 나타내었다. 이러한 분석의 의미는 해당 지역에서 새만금 간척사업, 인구 유입, 매년 늘어나는 공장의 건설과 가동 등 산업화 때문에 해당 지역의 온도가 매년 전체적으로 확장되어가며 증가한다는 것들이라 판단된다.

6. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 무선센서네트워크의 데이터 분포도와 GIS를 이용하여 측정 데이터에 대한 면적 변화량을 산출하고 시간적인 변화량과 공간적인 변화량을 동시에 분석하였다. 이와 같은 분석 방법은 분석가로 하여금 실시간 데이터를 시간과 공간에 따라 3차원적인 분석결과를 도출하여 보다 다차원적인 정보를 제공하는 방법이다. 기존 연구논문에서는 데이터를 가지고 측정 값을 분석하여 예측하는 정도의 결과만 수행하여 왔다. 하지만 본 논문에서는 센서네트워크를 이용하여 실시간 데이터가 시간에 따라 증가 또는 감소했는지 수치에 대한 분석값뿐만 아니라 GIS와 연동하여 지리적으로 얼마만큼 어느 방향으로 증가 또는 감소했는지에 대하여 알 수 있었다.

향후, 본 연구에서는 지리요소의 변화가 일어남으로서 발생하는 여러 변화요소들의 결과들을 센서 네트워크 시스템을 통해 실시간으로 측정하여 즉각적이고 실시간적 보정작업을 이용한 탐지 및 예측을 하고자 한다.

참고 문헌

- [1] Sahinoglu, Z and Gezici, S., "Ranging in the IEEE 80.15.4a Standard," IEEE Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON), December, 2006.
- [2] Yajie Ma, Moustafa Ghanem, Yike Guo and Mark Richards, "Air Pollution Monitoring and Mining Based on Sensor Grid in London," *Sensors: Special Issue on Urban Environmental Monitoring*, vol.8, pp.3301-3623, June. 2008.
- [3] Vibha Prasad, Ting Yan, Praveen Jayachandran, Zengzhong Li, Sang H. Son, John A. Stankovic, Jorgen Hansson and Tarek Abedlzaher, "ANDES: an ANALysis-based DEsign tool for wireless Sensor networks," *Proc. of 28th IEEE International Real-Time Systems Symposium*, pp.203-213, 2007.
- [4] A. K. Mishra, V. K. Dadhwal and C. B. S. Dutt, "Analysis of marine aerosol optical depth retrieved from IRS-P4 OCM sensor and comparison with the aerosol derived from SeaWiFS and MODIS sensor," *Journal of Earth System Science*, vol.117, no.1, pp.361-373, 2008.
- [5] Xiaoqiao Meng, Thyaga Nandagopal Li Li and Songwu Lu, "Contour Maps: Monitoring and Diagnosis in Sensor Networks," *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, vol.50, pp.2820-2838, 2006.
- [6] Maureen D. Agnew and Jean P. Palutikof, "GIS-based construction of baseline climatologies for the Mediterranean using terrain variables," *CLIMATE RESEARCH Clim Res*, vol.14, pp.115-127, 2000.