한국지리정보학회지 12권 4호 : 158~168(2009)

도시지상시설물 관리를 위한 최적 센서노드 배치 방법*

강진아[1※] · 남상관[2] · 권혁종[3] · 오윤석[4]

A Optimal Method of Sensor Node Deployment for the Urban Ground Facilities Management*

Jin-A KANG[1※] · Sang-Kwan NAM[2] · Hyuk-Jong KWON[3] · Yoon-Seuk OH[4]

요 약

국가와 도시가 급속히 발전할수록 국민생활에 필요한 기반시설물들과 관리 체계는 날로 복잡해지고, 이를 체계적으로 건설하고 유지하는 비용과 노력이 기하급수적으로 증가한다. 본 연구에서는 국가기반시설물 중 도시지상시설물을 무선 센서 네트워크로 관리하기 위해 센서노드를 설치하는 방법을 제시하였다. 먼저, 1차 분석으로 관리 대상 및 방법을 도출하여 센싱 커버리지를 만든 후, 이를 도시지상시설물에 센서노드 설치에 적용하였다. 그리고 2차 분석을 통하여 중복설치 문제의 해결 방안을 제시하였다. 제시된 방법과 수치지도를 활용하여 GIS 프로그램을 구현하였으며, 항공사진과의 중첩을 통해 관리의 방법에 현실성을 향상시켰다. 개발된 프로그램을 사용하여, 한국건설기술연구원 주변 지형에 대해 센서노드 실험을 실시하였다. 그 결과 중복 설치된 센서노드를 약 50% 제거하였으며, 도로를 따라 센서노드가 골고루 배치된 것을 확인할 수 있었다.

주요어 : 도시지상시설물, 센서노드 배치요소, 센서노드 최적배치

ABSTRACT

As nation and society progresses, urban ground facilities and their management system get more complicated and the cost and effort to control the system efficiently grows exponentially. This study suggests to the deployment method of a sensor node by Wireless Sensor Network for controling the Urban Ground Facilities of National Facilities. First, we achieve the management

2009년 11월 19일 접수 Received on November 19, 2009 / 2009년 12월 15일 수정 Revised on December 15, 2009 / 2009년 12월 21일 심사완료 Accepted on December 21, 2009

* 이 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신사업과제의 연구비지원(06국토정보C01)에 의해 수행되었습니다.

1 한국건설기술연구원 유비쿼터스국토연구실 연구원 Research, Ubiquitous Land Research Division, Korea Institute of Construction Technology

2 한국건설기술연구원 유비쿼터스국토연구실 연구원 Research, Ubiquitous Land Research Division, Korea Institute of Construction Technology

3 (주) 웨이버스 솔루션 부문 Solution Group, WAVUS Corporation

4 한국건설기술연구원 유비쿼터스국토연구실 선임연구원 Senior Research, Ubiquitous Land Research Division, Korea Institute of Construction Technology

※ 연락저자 E-mail: jakang@kict.re.kr

facilities and method using the first analysis and then make the coverage of sensing and then set up the Sensor Node in Urban Ground Facilities. Second, we propose the solution way of repetition by the second analysis. And, we embody the GIS program by Digital Map and this method, we improve the reality by overlapping an aerial photo. Also we make an experience on the sensor node allocation using making program. we can remove the repetition sensor node about 50%, and we can confirm that the sensor nodes are evenly distributed on the road.

KEYWORDS : Urban Ground Facilities, Sensor Node Deployment Element, Sensor Node Deployment

서 론

U-City 등 최근 급속한 도시 패러다임 변화에 따른 기반 시설물의 관리체계가 복잡해지고, 이를 체계적으로 유지관리하기 위한 비용이 기하급수학적으로 증가할 것으로 예상된다. 특히 인구의 도시 집중현상으로 사회적 비용이 도시로 집중되고 있으나, 국가에서는 인력부족, 예산부족 등의 이유로 사고에 의한 국민들의 정신적, 물질적 피해를 사전에 완벽하게 방지하지 못하고 있는 실정이다.

최근에는 도시 관리 기술의 문제를 해결하기 위해 무선 센서 네트워크 기술을 적용하는 연구가 많이 진행되고 있다. 그러나 대부분 교량이나 터널 등 일부 대형 시설물에 센서를 설치하여 실시간 모니터링 하는 연구가 추진되고 있으며 넓은 범위의 도시 전체 시설물 관리에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 이러한 센서노드 관련 연구 이외에도 넓은 면적의 도시를 관리하기 위해서는 저비용 고효율의 센서노드 배치에 관한 연구가 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 도시시설물 관리 항목 및 커버리지 범위 등을 도출하고, 센서 노드 통신을 고려한 배치와 여러 센싱 항목으로 인해 생기는 중복 현상을 제거하기 위한 방법을 제시한다. 또한 GIS를 이용하여 실제 센서 노드를 배치하여, 본 연구에서 개발된 방법의 타당성을 입증한다.

일반적으로 최적의 센서 배치 방법은 최소 개수의 센서들로 탐지 대상 영역을 만들어 관리 대상 지역을 얼마나 완벽하게 커버할 수 있느냐의 문제이다. 따라서 최소 개수의 센서로 목표 대상을 효율적으로 탐지할 수 있는 최적의 센서 배치 방법이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 관리가 필요한 도시시설물을 구분하고, 이를 관리할 수 있는 센서를 찾기 위해 분류 작업을 수행하였다. 또한 다양한 센서 종류 중에 주로 사용되는 몇 가지 센서에 대해 논리적인 설치 규칙을 만들고, 이 규칙을 통해 일정 간격으로 센서를 설치하도록 하였다. 그러나 대상 지역을 완벽하게 커버하기 위해 센서 설치 규칙들이 다양화할수록 중복되는 지점이 많이 발생하게 된다. 이때 중복 지점을 없애기 위해 도시지상시설물이라는 범주에 맞추어 정량화 할 수 있는 영향 요소들을 고려한 센서 배치 방법을 제안하였다. 또한 본 논문에서 제안된 센서 배치 방법을 따르는 센서 배치 관리 시스템을 구현하여 이를 경기도 일산소재 한국건설기술연구원 주변에 설치된 센서 배치에 적용하였다.

선행 연구

본 연구에서는 최종적인 목적은 도시시설물 중 지상 시설물을 관리하기 위한 센서 배치 방법을 제안하는데 있다. 이에 대해 국내외에서 진행된 센서 배치에 관한 연구는 자원의 낭비를 줄이기 위한 알고리즘이나 소규모 배치에 대한 연구가 대부분이다. 그러나 큰 범위의 도시를 대상으로 GIS DB를 구축하여 센서를

배치하는 연구는 거의 없었다. 대부분 센서노드 배치나 변수들에 관한 연구가 많이 진행되었다. Zou 와 Chakrabarty(2003)는 VFA(Virtual Force Algorithm)의 개념을 도입하였는데, 주변 환경 정보를 벡터 형태로 바꾸어 센서 커버리지를 결정하였으며 이를 통해 센서의 최적 위치를 정하였다. 즉, 통신에 장애를 주는 지역에서는 더 많은 센서를 배치하고, 평지와 장애물이 없는 지역에서는 적은 센서를 설치하여 전체 영역에 대한 탐지가 최대화 되도록 하였다. 그러나 이 방법은 설치 범위가 넓어질수록, 장애물로 인해 센서의 수가 기하급수적으로 증가하는 단점이 있다. Poduri 등(2006)은 센서 배치를 위해 기본 경계를 2D에서 3D로 바꾸는 방법을 제시하였다. 이 논문은 3D 커버리지 면적을 구하는 방법에 대한 연구하였는데, 현 시점에서는 3D 배치 관련 연구는 많이 발전하지 못하였다. Liu 와 Mahapatra (2005)는 센서 배치 시 고려해야 할 사항으로 센서노드 수명, 전파 반경, 개수를 나누고 적절한 배치를 하는 방법에 대해 연구하였다. 이 논문에서는 Linear deploy 방법을 제안하였는데, 그중 격자방향으로 촘촘히 센서노드를 배치하는 방법과 센터로부터 동심형 구조에 촘촘히 배치하는 방법을 제안하였다. Corp와 Shawn(2005)는 실외 센서 노드 배치를 위해, 로봇을 이용하여 공간적이고 기계적인 검증 실험을 실시하였다. 면적 400㎡에 센서 100개를 설치하고 로봇 움직임을 통해 센서 노드의 연결에 대한 실효성을 검증하는 실험을 실시하였다.

오동진과 박재현(2006)은 무선 센서 네트워크 분야에서 센서 노드 배치 알고리즘 DSSA (Distributed Self Spreading Algorithm)와 TBDA(Tree Based Deployment Algorithm)를 모델링 하고, 이들 알고리즘의 안정성과 정확성을 널리 사용하고 있는 검증 모델 SPIN을 이용하여 검증하였다. 김우승과 김진석(2008)은 대규모의 무선 센서 네트워크에서의 센서 노드 통신에 의한 연결성에 대해 연구하였는데, 대상 목표지역에 균일 분포 과정으로 센서 노드들을 배치하고, 연결된 노드의 평균 비율을 계산하여 게이트웨이의 수를 결정하는 알고리즘을 제안하였다. 김태영 등(2008)은 자원의 효율적인 배분을 위하여 센서 설치에 기후와 지형 등 환경 요소를 고려해 보다 현실적인 센서 설치 방법을 제시하였다. 그러나 구체적인 환경 요소들이 아닌 일반적인 사항들만 나열하고 있어 실제 현실에 반영되기는 어렵다는 단점이 있다. 김의명 등(2006)은 가로수 관리의 3차원 관리를 위해 UFID 체계를 이용하는 방법을 제안하였으며, 전문장 등(2009)은 과수 생육환경의 모니터링을 위해 일사량, 온도 및 습도의 무선 센서 네트워크 환경 조성을 위한 연구를 진행하였다.

연구 방법

도시시설물은 지상과 지하시설물로 나눌 수 있다. 지하시설물의 경우는 상수도, 하수도, 전기선, 통신선, 송유관, 가스관 등 7개 시설물로 한정되어 있는 반면 지상시설물은 종류도 매우 다양하고 설치 위치 및 시설물의 규모도 매우 다양하다. 지상시설물의 종류는 건물, 도로, 교량 등 시설물에서부터 가로등, 가로수 등이 있다. 도시 지상시설물의 경우, 도로를 중심으로 설치되어 있는데, 본 연구에서는 이를 관리하기 위해 그림 1과 같은 센서 배치 방법을 제안하고자 한다.

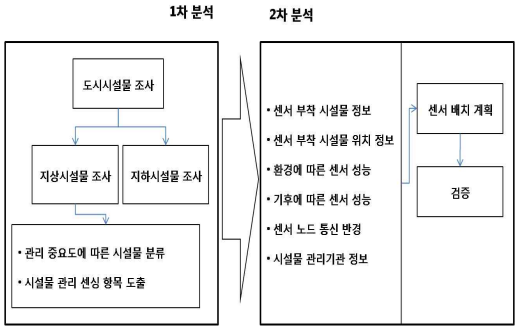

FIGURE 1. 최적 센서배치 절차

본 연구에서 제안한 방법은 다음과 같다. 우선 1차 분석을 통해 도시시설물 중 지상시설물의 목록을 수치지도 및 지자체의 UIS DB 분석을 통해 조사한 후, 관리 중요도에 따라 이를 분류하고 관리되어야 하는 시설물의 목록을 조사하였다. 또한 센싱 원리에 따라 센서를 분류하고 시설물에 적합한 센서를 조사한 뒤, 설치 방법을 선정하고 선정된 범위에서 관리자의 특정 지점 선택을 반영하여 균등하게 도시 전체에 배열하였다.

1차 분석을 통해 규칙적으로 설치된 센서노드는 도로의 구조와 센서종류의 수로 인해 중복이 발생하게 된다. 이때 2차 분석을 적용하여 중복된 결과를 제거하며, 마지막으로 2차 분석으로 설치된 센서노드들을 현지조사를 통해 검증하는 순서로 연구를 수행하였다.

1차 분석

본 연구에서는 각종 법규, 고시 및 지침을 검토하고, 각 지자체별로 운영 중인 UIS 시스템의 DB 목록을 조사하여 대상 시설물을 선정하였다. 현재 도시 시설물 중 지상에 설치되어 있는 237개의 시설물을 선별하였다. 그러나 선정된 대상 시설물을 모두 분석하여 관리하기는 시간적, 물리적 어려움이 따르기 때문에, 선별된 시설물 중 관리 중요도에 따라 표 1과 같이 지상시설물 20개를 선정하였다.

TABLE 1. 도시지상시설물 목록

순번	시설물 목록	순번	시설물 목록
1	가드레일	11	긴급연락시설
2	가로등	12	담장
3	가로등 점멸기	13	도로
4	가로수	14	도로반사경
5	가판대	15	도로원표
6	과속방지턱	16	도로절개지
7	광고탑	17	도로중심선
8	교량	18	무인속도측정기
9	급수탑	19	미끄럼방지시설
10	기상관측장치	20	방설/제설시설

다음으로 센서를 조사하여 분류하였다. 센서는 그림 2와 같이 크게 역학, 자기, 광, 방사선, 음향, 화학, 바이오센서 등으로 나눌 수 있으며, 전자기, 전기, 진동 등으로 압력을 계측하는 압력센서, 물체의 이동거리 및 위치를 측정하는 변위센서, 힘을 가하면 물체의 변형이 일어나는 효과를 이용한 응력센서, 유속을 압력, 힘, 위치, 열, 주파수 등으로 변환하여 계측하는 유속센서, 관성력, 전기변형, 자이로를 이용하여 가속도, 진동, 충격 등의 동적 힘을 감지하는 가속도 센서, 빛을 이용하여 대상을 검출하는 광센서 등이 있다. 그 밖에 음파센서, 화학센서, 방사선센서, 바이오센서 등이 있다.

<table>
<tr><th>분류</th><th>소분류</th><th>분류</th><th>소분류</th></tr>
<tr><td rowspan="5">역학
센서</td><td>압력센서</td><td rowspan="2">음향
센서</td><td>음파센서</td></tr>
<tr><td>변위센서</td><td>초음파센서</td></tr>
<tr><td>응력센서</td><td rowspan="5">온도
센서</td><td>측온저항소자</td></tr>
<tr><td>유속센서</td><td>써미스터</td></tr>
<tr><td>가속도 센서</td><td>p-n접합센서</td></tr>
<tr><td rowspan="5">자기
센서</td><td>전자유도센서</td><td>열전대</td></tr>
<tr><td>전류자기센서</td><td>초전형센서</td></tr>
<tr><td>철심형자력계</td><td rowspan="3">화학
센서</td><td>가스센서</td></tr>
<tr><td>자기다이오드</td><td>이온센서</td></tr>
<tr><td>SQUID</td><td>습도센서</td></tr>
<tr><td rowspan="4">광
센서</td><td>광전자방출형</td><td colspan="2">방사선 센서</td></tr>
<tr><td>광도전형</td><td colspan="2">바이오 센서</td></tr>
<tr><td>접합형</td><td colspan="2" rowspan="2">.
.
.
.</td></tr>
<tr><td>복합광소자</td></tr>
</table>

FIGURE 2. 센서 분류

이와 같이 1차 분석에서는 조사된 주요 시설물과 센서 분류를 통해 도시지상시설물 관리를 위한 센싱 항목들을 판단하게 된다.

설치 방법

일반적으로 무선 센서 네트워크 자체로는 완전히 독립적으로 운용될 수 없으며, 사용자에게 투명한 접근성을 제공하기 위하여 기존에 널리 보급되어 있는 IP(Internet Protocol) 네트워크와 통합되어 운용된다. 이때 센서 네트워크의 IP 네트워크로의 연결이 중요하지만, 센서 네트워크의 제한된 에너지와 낮은 프로세싱 능력 등으로 인해 센서노드에 IP 프로토콜을 탑재하여 운영하기는 어렵다. 게이트웨이는 IP 네트워크 프로토콜과는 다르게 운용되는 센서 네트워크간 통합을 위한 방안으로 사용된다. 그러므로 센서의 배치도 중요하지만 게이트웨이 배치 역시 함께 고려해야 한다.

1. 설치 기준

본 연구에서는 센서 중에 가장 널리 사용되는 온/습도, 풍향/풍속, CCTV, 충격/진동 센서를 대상으로 연구를 진행하였다. 또한 센서노드를 무작위로 설치하는 것이 아니라 GIS를 고려한 센서노드 설치하기 위해, 본 연구에서는 도시를 이루고 있는 블록의 크기를 이용하였다. 블록을 이용하면 도시 전체에 규칙적으로 설치할 수도 있고 관리자의 의견 반영하기가 쉽기 때문이다.

본 연구에서는 '도시계획시설의 결정·구조 및 설치 기준에 관한 규칙' 을 참조하여 표 2와 같이 블록을 구분하였다. 대블록(Super Block)은 블록 한 변의 길이가 500m 내외이고 블록에 인접하는 도로가 광로일 경우이며, 블록의 길이가 250m 내외로 블록에 면하는 도로가 중로·대로일 경우는 중블록, 블록의 한 변의 길이가 150m 이하로 블록에 인접하는 도로가 소로일 경우를 소블록으로 나누어진다. 표 3은 분당과 일산 신도시의 크기를 나타내며, 이들 신도시는 중블록 이상으로 도시가 계획되었다는 것을 알 수 있다.

TABLE 2. 블록 크기

	대블록	중블록	소블록
블록의 길이	500m내외	250m내외	150m이하
면하는 도로의 규모	광로	대로·중로	소로

TABLE 3. 신도시의 블록 크기

	블록의 크기	**도시 구조**
분당신도시	375m×418m	격자형 구조
일산신도시	385m×447m	격자형 구조

본 연구에서는 표 2와 표 3을 이용하여 표 4와 같은 센서 배치에 대한 기준을 설정하였다. GFDA(Ground Facilities Data Aggregation)는 게이트웨이의 일종으로 중블록 단위로 설치하여 센서노드의 시작점으로 사용하는 장비를 의미한다. 온·습도, 풍향·풍속 센서의 경우 도시 전체로 보면 큰 변화가 없기 때문에, 대블록 기준으로 설치하였다. CCTV의 경우, 최근 기술력이 많이 발전하여 센싱 거리가 넓기 때문에 소블럭 단위로 설치하는 기준을 세웠다. 진동 및 충격 센서의 경우, 세세한 부분을 센싱하기 때문에 설치 반경을 Zigbee의 통신 반경을 사용하여 설치 기준을 설정하였다.

TABLE 4. 센서노드 커버리지

설치 특징		거리(m)
GFDA 중블록 단위로 배치		약 300m간격 정사각형 격자방향 배치
온도/습도 센서	중블록 4개당 센서 1개 설치	약 500m 간격 사각형 격자 방향으로 배치
풍향/풍속 센서	중블록 4개당 센서 1개 설치	약 500m 간격 사각형 격자 방향으로 배치
CCTV	소블록을 기준으로 배치	약 150m 간격 사각형 격자 방향으로 배치
진동 센서	센서 및 함체와의 일정 거리 배치	센서와의 거리 30m 기준 배치

2차 분석

본 연구에서 1차 분석을 통해 시설물 및 이들을 관리하기 위한 센서를 분류하였고, 이를 고려하여 도시 전체에 규칙적으로 설치할 수 있는 설치 기준을 설정 방법을 제시하였다. 이를 기반으로 커버리지를 설정하고 센서노드를 설치하는데, 다양한 센서 종류와 커버리지로 인해 센서 노드의 중복 지점이 발생하게 된다. 중복 지점을 없애기 위해 2차 분석이 필요하다. 2차 분석에서는 센서 부착 위치, 주변 정보, 환경 정보, 기후 정보, 센서 노드의 통신 반경, 관리 기관 정보를 이용하여 설치 대상 우선순위를 결정하고, 이를 통하여 중복 지점을 제거한다.

표 5는 지형이 센서에 미치는 영향 요소들을 설명하고 있다. 도로 주변은 센서 성능에 큰 영향을 미치지 않지만, 도심 하천이나 언덕 지역은 통신 및 탐지에 장해 요인이 될 수 있기 때문에, 평지보다는 더 많은 센서를 설치하여야 한다. 표 6은 센서에 영향을 미치는 기상 환경 인자로 강수량, 적설량, 먼지 농도, 동작 온도, 동작 습도, 소음, 주간, 야간, 날씨 등을 나열하고 있다(김대영 등, 2007).

TABLE 5. 지형 정보 요소

지형	특징	센서 영향 요소
언덕/수목림	지덕의 기복이 심하여 평지와 동일한 밀도로 센서 필드를 구상할 경우 통신 및 탐지 장애가 있을 수 있음.	가시선 방해, 센서 배치 방해, 통신 및 탐지 방해
도로	일반적으로 평평한 지형으로, 센서 배치에 큰 영향을 미치지 않음.	도시 지역일 경우, 소음 등이 방해가 될 수 있음.
교차로	도로 주변에 전파 장애 요소 및 설치 방해 요소들이 존재함.	센서 배치 방해, 통신 및 탐지 방해
하천/강가	지반이 약하고 물이 많은 지형으로 통신 및 탐지 장애가 있을 수 있음.	탐지율 감소(진동/음향센서) 가시선 방해

TABLE 6. 기상 환경 요소

기상 환경	영향 요소
강수량	감지시스템에서는 하루 100㎜ 정도의 강수량에도 견딜 수 있어야 함.
적설량	눈이 많이 내리는 지역에서는 센서의 통신 및 성능에 미치는 영향을 최소화할 수 있도록 인공적인 수단을 통해 제공되어야 함.
먼지 농도	보통 $100\mu g/m^2$에서도 센서의 성능에 영향을 미치지 않도록 해야 함.
동작 온도	센서에 큰 영향을 미치지 않음.
동작 습도	큰 영향을 미치지 않으나, 습도가 높은 지역의 경우 문제가 될 수 있음.
소음	큰 영향을 미치지 않으나, 기상 환경 등의 소음은 문제가 될 수 있음.
주간/야간	밤에는 소리가 더 멀리 퍼짐으로 진동/음향 센서의 탐지율이 증가함.
날씨	날씨가 맑은 날 센서의 성능을 최대한 발휘할 수 있음.
안개	우리나라의 시정 거리별 안개의 강도 구분에서 중에 해당하는 0.5~0.2km에서도 센서의 성능에 지장이 있어서는 안됨.

센서 배치 시스템의 설계 및 구현

본 연구에서는 도시지상시설물에 대하여 센서 배치 방법과 절차를 설계하고, 이를 기반으로 센서 배치 시스템을 구현하고자 한다. 도시지상시설물의 경우, 도로 주변에 설치되어 있기 때문에 도로선을 따라 규칙적으로 배치하도록 시스템을 구현하였다. 그림 3은 시스템 개발을 위해 만든 시스템 아키텍처이다. 공간데이터는 PostGIS를 사용하여 일산 일부지역에 대해 수치지도와 항공사진DB를 구축하였다. 맵랜더링은 GeoServer를 사용하였으며, 웹 어플리케이션 서버는 APHACHE TOMCAT을 사용하였다. 또한 공간분석 서버는 PostGIS에 JDBC로 연결하고, GEOTOOLS와 PostGIS API를 사용하여 구축하였다. 그리고 사용자는 지도 데이터를 WMS 형태로 가져오며, 지도에서 선택한 지점의 좌표에 해당하는

객체의 좌표와 속성을 GML을 통하여 가져온다. 또한 센서 배치에 대한 요청 시, 설정한 영역에서 도로 레이어에 설치될 센서 및 센서 노드의 위치를 XML형태로 가져오게 되는데, 이때 좌표 및 도형타입은 GEOJSON 타입을 사용한다.

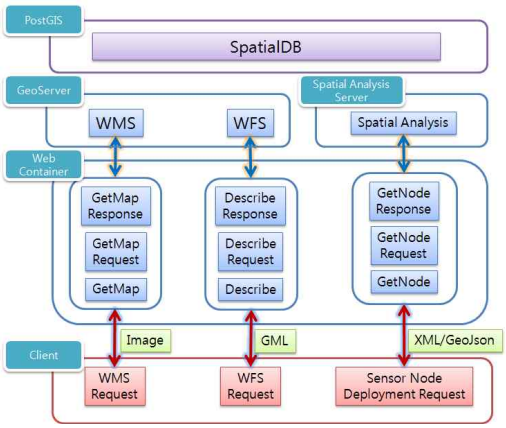

FIGURE 3. 시스템 아키텍처

USN 기반 실시간 지상시설물관리를 위해서는 실시간 센싱 데이터는 시설물에 직접 센서를 설치하여 실시간 센싱 데이터를 취득하여 관리할 수 있어야 하기 때문에, 센서 배치는 지상시설물을 관리를 위한 중요한 항목이다. 또한 넓은 규모의 도시에서 관리하는 시설물에 통합게이트웨이, 온도·습도, 풍향·풍속, CCTV 등의 센서가 설치될 위치를 담당자가 직접 계획하고 설치하기에는 많은 시간이 소요된다. 그 중 설치위치를 선정하는 작업은 공간연산 알고리즘을 통한 자동화 시스템을 통할 수 있는데, 일반적으로 최적의 센서 배치 방법은 최소 개수의 센서들로 관리 대상 지역을 센싱 할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 도시지상시설물을 관리하기위한 센서의 최적위치 선정 방안에 대한 연구를 진행하였다. 그러나 센서 배치에서 게이트웨이 또한 하나의 센서노드의 역할에 유선으로 통합관제센터에 데이터 전송하는 역할을 수행하기 때문에 버퍼에 크기만 제한된다. 그러므로 본 연구에서 통합게이트웨이와 센서노드를 기준으로 최적 설치 방법에 대한 연구를 진행하였다.

센서 노드가 설치되는 대상 레이어는 수치지도의 도로 레이어로 선정하였다. 센서의 유효 센싱 거리를 그림 4와 같이 도로의 중심선을 이용하여 센서를 설치하는 방법과 그림 5와 같이 도로 레이어를 이용하는 방법으로 나눌 수 있다. 도로 중심선을 이용하여 센서의 설치위치를 계산하는 방법은 도로 중심선을 따라 센서를 설치하고, 센서를 도로 주변으로 위치를 이동시켜줘야 할 뿐만 아니라 수치지도에서는 도로중심선을 제공하지 않기 때문에 만들어줘야 하는 단점이 있다.

그러나 도로 레이어를 이용하는 방법은 수치지도의 도로레이어를 가공없이 사용할 수 있으나, 이때 설치되는 센서는 도로선 양쪽 폭에 모두 표시되어 나타난다. 그러므로 본 연구에서는 도로레이어를 사용하는 방법과 이를 재배치하는 알고리즘을 이용하여 도로레이어에 최적설치위치를 산정하였다. 또한 도로 코너마다 센서 설치 시작점으로 버퍼를 생성하면 처리시간이 오래 걸리기 때문에, 본 연구에서는 그림 6과 같이 사용자 선택한 지점부터 버퍼를 크기를 일정 간격으로 넓혀 생성하여, 도로레이어와 규칙적으로 만나는 지점에 센서를 설치하는 방법을 제안하고자 한다. 이를 이용하면 정확도는 기존 방법과 유사하지만 처리단계가 간소하여 공간분석 처리속도가 빠르다는 장점이 있다.

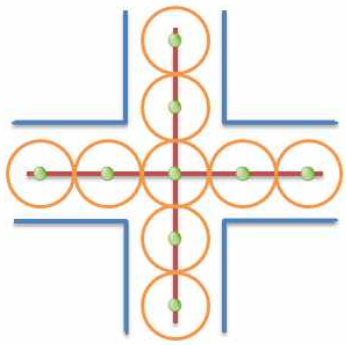

FIGURE 4. 중심선이용

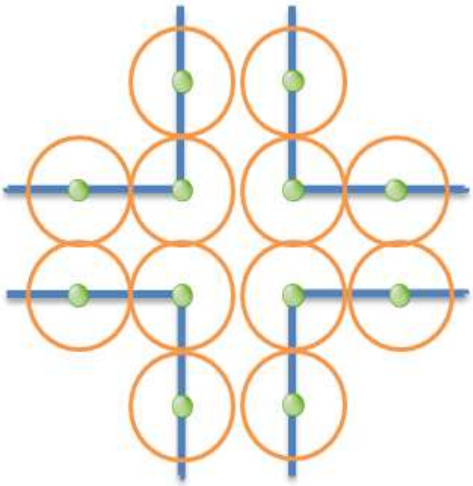

FIGURE 5. 도로 레이어 이용

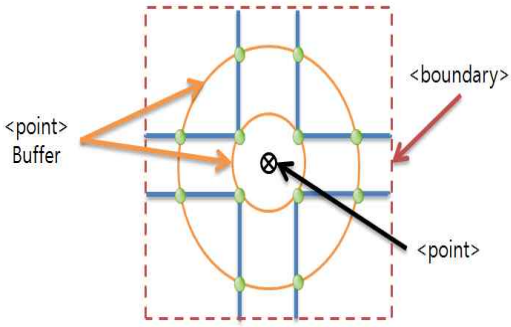

FIGURE 6. 후보점 도출

우선 관리자에 의해 의사 결정시, 원하는 범위에 대해 센서를 설치할 수 있도록 본 연구에서는 Clipping 기능을 구현하였다. Clipping 기능은 사용자가 선택한 지역과 도로레이이와 필요한 지역만 추출하여, 그림 7과 같이 원본 입력 레이어는 클립 레이어에 의하여 정의된 지역에 대한 도형 및 속성 정보만을 추출하여 출력레이어를 만들게 된다. 그림 7은 센서 배치를 위해 만든 Client 화면으로 Clipping 기능을 수행하여 센서를 배치는 과정을 보여주고 있다. 또한 관리자가 시작점을 선택할 수 있는 기능을 넣어서, 관리자의 의견이 반영되어 위치를 조정할 수 있는 기능을 삽입하였다. 그림 10과 같이 Clipping 된 지역 내에 설치 가격을 산출되며, 이를 가지고 의사결정을 할 수 있다.

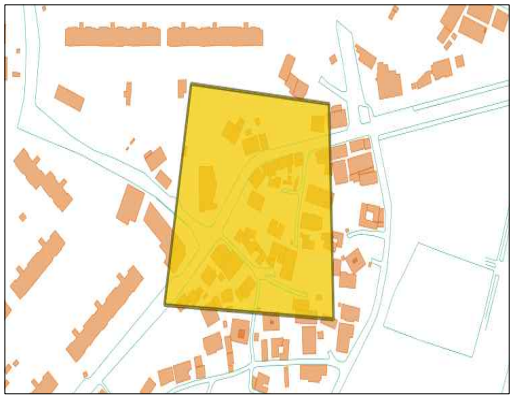

FIGURE 7. 사용자 선택 화면(Clipping)

또한 본 연구에서는 센서 설치 과정에 현실성을 더하기 위해서 시스템에 항공사진 영상과 수치지도 레이어를 중첩하는 기능을 추가하였다. 그림 8과 같이 Clipping 된 지역에 수치지도 Shape 파일에서 도로 주변에 존재하는 도로의 폴리라인과 건물의 폴리곤 레이어를 추출하고, 그림 9과 같이 항공사진 영상에서 추출된 폴리라인과 건물의 폴리곤 레이어를 함께 도식하여, 현장 답사를 하지 않더라도 의사 결정이 가능하도록 구현하였다.

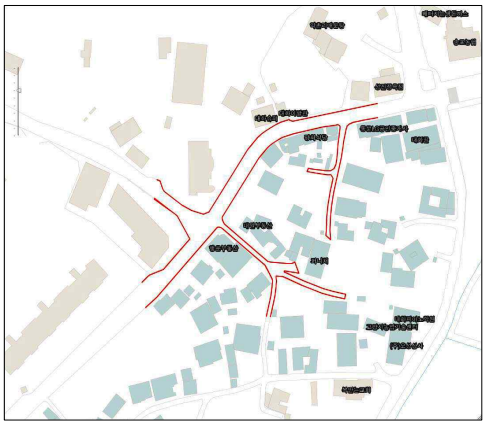

FIGURE 8. 폴리 라인, 폴리곤 추출

FIGURE 9. 항공사진과 중첩

또한 본 연구에서는 한국건설기술연구원 주변에 대해 실험을 실시하였다. 소규모의 지역에 대해 Clipping을 수행한 결과, 면적은 169,630.84㎡이고, 표 4의 게이트웨이 반경을 고려하여 설치한 결과는 그림 10과 같으며, 프로세스 소요시간은 891ms로 나타났다. 또한 Clipping 반경을 좀더 넓혀서 실험한 결과, 그림 11과 같이 458,150.28㎡의 면적에 소요시간은 1,266ms로 나타났다. 또한 센서나 센서 노드들도 이런 방법에 의해 최적설치 위치 실험을 진행하였다.

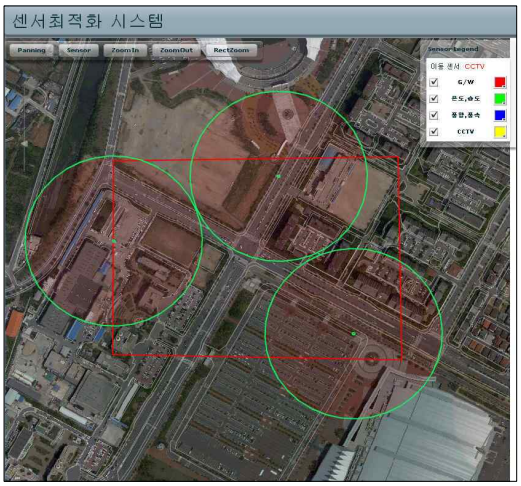

FIGURE 10. 센서배치(169,630.84㎡)

FIGURE 11. 센서배치(458,150.28㎡)

구현된 시스템을 활용하여 한국건설기술연구원 주변을 대상으로 센서 노드를 설치하였다. 그러나 실험에 사용된 지역의 경우 대단위 신도시나 대도시 지역이 아니기 때문에 표 4의 기준을 적용할 수 없었다. 따라서 이 대안으로 50m 의 동일한 간격으로 그림 12와 같이 센서를 배치하였다. 도로는 2개의 폴리라인으로 구성되어 있기 때문에 두 지점이 선택되었다. 현재는 센서 위치에 버퍼를 생성하여 그림 13과 같이 근거리에 배치된 중복 센서 노드를 제거하였다. 그 결과 그림 12는 센서 노드 41개가 선택되었으며 중복 실험을 적용한 그림 13에서는 센서 노드 21개가 선택되어 중복된 약 50% 가 제거됨을 확인 할 수 있었다.

FIGURE 12. 50m간격으로 센서노드배치

FIGURE 13. 중복 설치 배제 영상

본 연구의 최종 목적은 센서최적 위치 선정 알고리즘 산출과 프로그램을 구현하는 것이다. 이를 위해 일부지역을 대상으로 테스트를 거쳐 프로그램을 제작하였다. 현재 대단위에 GIS 자료를 만드는 작업을 진행 중에 있으며, 이를 기반으로 프로그램을 테스트를 계획 중에 있다. 그러나 도시 지역은 경지 정리가 끝난 상태이기 때문에, 지형 정보 보다는 기후나 전파 전송 장애물이 영향을 많이 미친다. 그러므로 본 연구에서 사용된 지역과 설치 현황이 큰 차이가 나지는 않을 것으로 판단된다. 또한 기후나 전파 전송 장애물에 경우, 현재 현지조사를 통해 설치 항목을 만들어 보완하여야 할 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 사용된 항공사진을 사용한다면, 현지조사를 통하지 않더라도 설치된 센서들을 검증할 수 있어 센서 설치에 실효성을 향상시킬 수 있을 것이다.

결 론

최근에는 무선 센서 네트워크를 실생활에 적용되면서 설치에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 그러나 소규모의 센서노드 배치에 관한 연구는 많이 진행되었으나, 국가 인프라를 관리하기 위한 대규모의 센서노드 배치에 관한 연구는 부족한 실정이다. 또한 센서노드 배치에서 감지성(coverage)과 연결성(connectivity) 뿐만 아니라 경제적인 요소를 고려하여 설치해야 되기 때문에 연구에 어려움이 있다.

본 연구에서는 국가 인프라 중 하나인 도시지상시설물 관리를 위한 대규모의 센서노드 배치에 관한 연구를 진행하였다. 최적위치를 선정하기 위하여 도시지상시설물을 조사하고 관리가 필요한 시설물을 선정하였다. 또한 시설물의 관리를 위해 센싱 항목를 기초로 센서를 분류하였으며 가장 많이 사용되는 대표적인 센서에 대해 센서노드 설치 규정을 설정하였다. 또한 중복 문제를 해결하기 위해 많은 센서 영향 인자를 조사하였다.

이를 기반으로 도시지상시설물 관리를 위한 최적 센서노드 배치 프로그램을 구현하였다. 한국건설기술연구원 주변 지역에 프로그램을 적용하였으며, 그 결과 중복되는 센서설치 위치가 제거됨을 알 수 있었다.

그러나 본 연구에서는 최적위치 선정 알고리즘과 프로그램 검증을 위해 일부 지역에 대한 실험만 진행하였다. 그러므로 향후 도심지나 신도시에 대하여 추가 실험 및 검증을 진행해야 할 것으로 판단된다. KAGIS

참고 문헌

김태영, 최혁재, 이종언, 차시호, 강석주, 조국현, 조민호. 2008. 센서의 성능에 미치는 환경 요소에 기반한 센서 노드 배치 방법. 한국통신학회 논문지 33(10):894-903.

김정은, 윤만기, 한정희, 이창건, 하은용. 2008. 유비쿼터스 센싱 인프라 구축을 위한 최적센서 배치 방법. 한국컴퓨터종합학술대회 35(1):313-317.

전문장, 심규원, 김 민. 2009. 과수의 생육환경 모니터링을 위한 유비쿼터스 센서 네트워크의 적용. 한국지리정보학회지 12(3):56-65.

김우승, 김진석. 2008. 대규모 무선 센서 네트워크에서 게이트웨이 배치와 연결성. 한국컴퓨터종합학술대회 논문집 35(1):342-345.

김의명, 강민수, 이진영, 김병헌, 김호준, 김인현.

2006. 유비쿼터스 기술을 이용한 시설물 관리. 한국지리정보학회지 9(4):105-118.

오동진, 박재현. 2006. SPIN을 이용한 무선 이동 센서 네트워의 배치 알고리즘 검증. 한국정보처리학회지 13(3):391-398.

Sharp, C., S. Schaffert, A. Woo, N. Sastry, C. Karlof, S. Sastry and D. Culler. 2005. Design and implementation of a sensor network system for vehicle tracking and autonomous interception. IEEE EWSN.

Poduri S., B. Har-Peled., B, Krishnamachari. and G.S. Sukhatme. 2006. Sensor network cofiguration and the curse of dimensionality , IEEE Workshop on Embeded Networked Sensors, Cambridge, MA.

Zou. Y. and K. Chakrabarty. 2003. Sensor deployment and target localization based on Virtual Forces, IEEE INFOCOM Conference, pp.1293-1303.

Liu, X. and P. Mahapatra. 2005. On the deployment of wireless sensor nodes. In Proceedings of the Third International Workshop on Measurement, Modeling, and Performance Analysis of Wireless Sensor Networks, in conjunction with MobiQuitous, ACM Press.