

GIS기반 무선 센서노드 배치에서 경로손실을 고려한 위치 보정 방법

A Position Revision Method by Path-Loss Factor in GIS based Wireless Sensor Node Deployments

배 명 남* 권 혁 중** 강 진 아*** 이 인 환****
Myung Nam Bae Hyuk Jong Kwon Jin A Kang In Hwan Lee

요 약 본 논문은 GIS를 기반으로 도시 무선 통신환경에서 지형 공간 요소를 활용하고, 전파 손실에 영향을 미치는 대표 간섭 요인을 고려한 무선 센서노드 배치 알고리즘을 제안하였다. 먼저, 경기도 고양시 일산의 주요 도로에서 전파 손실 실험을 수행하고, 얻어진 실험 결과는 지리정보 시스템으로 부터 추출 가능한 주변 환경 정보와의 상관관계를 정의하였다. 다음으로, 이의 활용을 통해 무선 센서노드의 무선 커버리지 결정 및 배치 시스템 구현에 필요한 세부 동작에 대해 기술하였다. 그 결과, 전파에 영향을 많이 미치는 건물이나 도로의 선형 구조의 반응을 통해, 5dB 이하의 오류 수준으로 경로손실을 평가할 수 있었다. 그리고 이를 기반으로 센서노드 배치를 보정할 수 있는 방법을 제시하였다.

키워드 : 경로손실, 지리정보시스템, 무선 센서 네트워크, 센서노드배치

Abstract In this paper, we proposes a sensor node positioning algorithm that utilizes the geo-spatial elements and considers the factors to represent the propagation loss generated by the various obstacles in the urban wireless environments.

First, we measures the propagation loss about the radio frequencies in major road of the urban, and defines the correlation between the measured loss and the environment information for the road and its surrounding get from Urban GIS. Secondly, through the utilization of the loss-environment correlation, we describes the detailed instruction for requiring the radio coverage decision and deploy system implementation for the wireless sensor node in urban. By the consideration of interference factor by the building and the linear structure of road, we can evaluate the path loss below 5dB RMS error. And, we proposes the way to revise the sensor node deployment based on the correlation and the measured path loss.

Keywords : Path-loss, GIS, Wireless Sensor Network, Sensor Node Deployment

1. 서 론

도시는 패러다임의 변화에 따라 도시 경쟁력과 시민들의 삶의 질에 대한 사회적 이슈와 요구가 점차 확대되고 있다. 최근 유비쿼터스 도시(u-City, Ubiquitous City)는 IT 기술을 기반으로 도시 경쟁력과 시민들의 삶의 질 향상을 목표로 추진되고 있

으며, 특히, 신도시, 혁신도시, 행정중심복합도시를 중심으로 다양한 분야의 서비스를 제공하는 방향으로 발전하고 있다.

이에 따라, 도시와 삶의 유지에 필요한 기반시설 물들과 관리체계는 날로 복잡해지고, 이를 체계적으로 건설하고 유지하는 비용과 노력이 기하급수적으로 증가하고 있다. 이를 해결하기 위해, 도시의 핵심

† 이 논문은 국토해양부 첨단도시기술개발사업-지능형국토정보기술혁신사업과제의 연구비지원(O6국토정보CO1)에 의하여 연구되었음.

* 한국전자통신연구원 USN기반기술연구팀 책임연구원 mmbae@etri.re.kr(교신저자)

** ㈜웨이브스 기술연구소 선임연구원 hjkwon@wavus.co.kr

*** 한국건설기술연구원 유비쿼터스 국토연구실 연구원 jakang@kict.re.kr

**** 한국전자통신연구원 USN기반기술연구팀장 ihlee@etri.re.kr

인프라를 구성하는 각종 시설물들에 대해 효율적이고 지능적인 관리가 필수 요소로 대두되고 있으며, 수치지도나 도로망 지도로 부터 구축된 GIS 데이터 베이스, 센서 및 무선센서네트워크와 같은 통신 인프라, 그리고 다양한 서비스 및 소프트웨어 등의 관련 기술 간의 상호 융복합과 이를 통한 시너지 확산이 새로운 대안으로 대두되고 있다.

무선센서네트워크(USN: Ubiquitous Sensor Network)는 언제 어디서나 요구하는 다양한 서비스 제공을 목표로 하는 유비쿼터스 환경의 통신 네트워크 기반 기술로서, 도시의 물리적 환경인 도시 시설물의 위치 및 상태 정보에 대한 수집 및 정보 전달을 담당하며, 저전력/저비용으로 상대적으로 접근성이 떨어지는 주요 시설물에 대한 실시간 모니터링 및 상황에 대한 대처를 제공할 수 있다. 하지만, 현재의 센서네트워크 활용은 교량이나 터널과 같은 대형 시설물 혹은 제한된 도시 범위에 대해서만 적용하고 있으며, 광역화된 도시내 시설물에 적용하기 위해서는 도시 환경과 이에 영향을 받는 전파 특성을 고려한 신뢰성 있는 광역의 무선 센서노드 배치가 필요하다.

도시 지리정보 시스템은 무선 센서노드의 배치에 필요한 도로와 주변 건물 등에 대한 식별, 그리고 지형/지물의 고도 정도 등의 다양한 정보를 제공할 수 있어, 지리정보와의 연계를 통해 초기 센서네트워크 구성을 일정 신뢰도까지 자동화시킬 수 있으며 적은 비용과 빠른 처리시간으로 네트워크의 효율성과 안정성을 높일 수 있다.

본 연구에서는 이에 필요한 구체적인 방안으로, 향후 도시 변화를 쉽게 감래할 수 있는 센서노드 배치, 지형 조건을 고려한 송수신기간 가시성(LOS: Line of sight) 보장 방안, 그리고 도로 환경 기반 전파 손실 등의 고려를 통해, 보다 정밀하게 보완할 수 있는 GIS기반 센서노드 배치 및 위치 보정 방안을 제시하고자 한다.

2. 연구 배경

2.1 관련 연구

도시환경에서 센서노드들은 각각의 주변 환경이 서로 상이하고 작은 커버리지로 구성되기 때문에, 초기 무선센서네트워크 구성은 무엇보다 시간 효율적이고 통신 신뢰성이 보장되어야 한다.

무선 환경에서는 일반적으로 무선 센서노드들간의 송수신과정에서 손실되는 경로손실[5] 평가를 통해 통신 신뢰성을 보장할 수 있으며, 전통적으로 이를 위한 여러 방법이 제시되었다. 대표적으로 도심의 지형/지물에 대한 충분한 물리적 환경정보와 전파의 진행을 모델링하는 RT(Ray Tracing)을 바탕으로 신호 강도를 계산하는 방식이 있다[6]. 이 방식은 높은 신뢰성을 제공할 수 있지만, 전파 관점에서 주변 환경이 아주 정밀하게 모델링되어야 하는 것을 전제한 것이며, 때로는 도시 모델링 자체가 센서노드 배치보다 더 크고 복잡하여 대량의 계산량으로 인해 많은 처리 시간이 요구된다[3]. 또한, 센서네트워크에서 고려되어야 하는 전파 과정의 반사, 회절, 산란 등을 야기하는 교통량이나 가로수와 같은 장애물에 대한 고려를 적용하기 어려워, 도심 환경의 실제적인 상황을 반영하기 어렵다는 단점이 있다[7].

RT 기반 방식의 문제점을 개선하기 위해, 최근에는 3D GIS 정보를 활용하여 소규모 혹은 인접 건물의 그룹화 및 알고리즘 단순화를 통해, 처리 비용과 시간을 개선하고자 하는 연구들[2]도 제시되고 있다. 이에 비해, 본 논문에서는 도심의 수치지도 이외에 도로망 데이터와의 연계를 통해, 불필요한 주변 건물에 대한 전처리 등을 최소화할 수 있어 보다 시간 효율적인 장점이 있다. 또한, GIS로부터 도심 환경을 대표하는 요인을 선정하고, 이에 대한 경험치와의 상관관계를 통해 경로손실을 평가하는 방법들도 제시되고 있다. [1]은 도시의 지형공간 정보를 이용하여 송신기에서 수신기까지의 특정 영역에 포함된 건물 영역의 비율로부터 경로손실을 예측하는 방법을 제시하고 있다. 하지만, 이 연구는 동일한 주파수 대역을 사용하고 도시 공간 정보를 활용한다는 점에서 공통점이 있으나, LOS가 중요하고 지표에 근접하여 설치되는 무선 센서네트워크 환경에는 적합하지 않다는 단점이 있다.

한편, 국내에서도 무선 센서네트워크에서 센서노드 배치와 관련된 연구들이 진행되었다. [10]는 센서 배치와 관련된 다양한 기후와 지형 등의 환경 요소들을 분류하고, 이들 요소들이 센서노드 배치에 활용하는 방안을 제시하였다. 구체적으로, 대상 센서의 성능과 지형 환경에 따른 성능 변화, 그리고 기상 환경 등의 요인과 이를 고려한 배치 알고리즘을 포함하고 있으나, 도심 지역과 같은 현실 환경의 적용에 필요한 요인을 충분히 고려하지 못하였으며 주로 공

간해상도가 낮은 산악, 도로, 개활지, 하천 등에 적용하였다. [11]은 도시 시설물관리에 USN을 적용하기 위한 사전연구로 도시내 시설물의 종류 및 적용 방안 연구와 센서노드의 전파 커버리지를 기준으로 도시내 센서노드 배치 방법을 제안한 바 있다.

2.2 경로손실 모델과 감쇄 지수

전파 모델은 센서네트워크 같은 무선 통신 시스템을 설계하고 배포하기 위한 주요한 개념적 도구이다. 전파 모델은 시스템이 동작하는 환경과 특성과 밀접한 관계를 가지고 있으며, 수신기에 도달하는 무선 신호의 왜곡이나 감쇄를 예측하여, 실제 통신에 요구되는 부담(Budget)과 여유(Margin) 계산을 통해 다양한 목적으로 활용할 수 있기 때문이다.

2-ray 지상 반사 모델(2-ray ground reflection model)은 무선 신호의 전달 과정에서 송수신 경로상의 부담을 손쉽게 예측할 수 있는 대표적 방식으로, 그림 1과 같이 송수신기간의 거리(r)에 따른 대표 손실을 직접파와 지표반사파에 의해 결정한다.

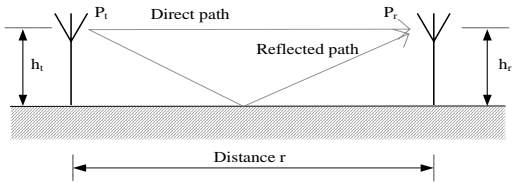


그림 1. 전파 전달 모델

이 방식에서 직접파와 지표반사파간의 경로는 각 송수신기의 높이 h_t 와 h_r , 그리고 거리 r 의 함수로 표현할 수 있고, 이를 정리하면 송신 전력(P_t) 대비 수신 전력(P_r) 손실은 다음과 같다($G_t=G_r=1$ 일 때).

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{h_t h_r}{r^2} \right)^2$$

즉, 송수신 안테나의 높이가 고정되는 경우, 전송 중의 경로손실은 거리의 4제곱에 반비례하게 된다. 2-ray 모델은 간편하고 손쉽게 계산될 수 있지만, 도심 환경의 추가 요인을 적용하기에는 적합하지 않다. 따라서 2-ray 모델을 보다 일반화하고, 지표 반사파 이외에 다양한 환경 요인에 대한 고려를 적용하기 위한 방식으로 환경에 따른 경로감쇄지수를 활용하는 다음 경로손실 모델이 보다 넓게 활용되고 있다.

$$PL(r)[dB] = 10 \cdot \alpha \cdot \log_{10}(r) + L \quad (1)$$

여기에서, 경로손실(PL:Path Loss)은 경로손실치, α 는 경로감쇄지수이며 r 은 송신기와 수신기간의 거리이다. L 은 환경적 요인에 따라 추가로 요구되는 경로손실 보정치이다.

또한, 종단 거리(BP:Break Point)는 반사파가 직접파에 간섭하는 최소거리이며, 종단 거리의 전후의 간섭 효과가 각기 다르다. 무선 센서네트워크에서 센서노드들은 지표에 근접하여 설치되므로, 경로손실 예측시에 이러한 종단 거리에 대한 고려도 추가로 필요하다.

$$t_{bp} = \frac{4h_t h_r}{\lambda} \quad (2)$$

일반적으로 낮은 안테나의 높이로 인한 반사파의 영향이 보다 크게 나타나며 도시의 다양한 추가 손실 요인이 항상 존재하므로, 실제 종단거리(r_{bp})는 이론적 종단 거리(t_{bp})에 비해 짧다. 여기에서 λ 는 파장의 길이로서 중심 주파수 f_c 에 대해 $3 \times 10^8 / f_c$ 이다.

식(1)의 경로손실 모델과 종단거리(r_{bp})를 고려를 통해, 도시에서 정확한 경로손실을 평가하기 위해서는 대표적인 환경요소의 선정과 이를 반영한 경로감쇄지수의 평가 방안이 매우 중요하다. 일반적으로, 센서노드의 위치를 결정하기 위해 사용되는 환경요소는 지리정보 시스템 등으로부터 적은 비용과 짧은 처리 시간 내에 제공될 수 있어야 하며, 이를 기반으로 예측된 경로손실은 일반적인 수준에서 허용 가능한 오차 범위내로 정확하여야 한다.

2.3 지리정보 시스템

2.3.1 수치지도와 도로망 데이터

경로손실 모델의 정확한 적용과 평가를 위해, 경로손실에 영향을 미치는 도로 주변의 가장 대표적인 공간상의 대상물 인식이 선행되어야 한다.

본 논문에서 앞서 구축된 지리정보 시스템은 경기도 고양시 일산 도시에 대해 수치지도와 항공사진 DB를 활용하여 구축되었으며, 공간 분석 서버를 통해 도시 구조물에 대한 다양한 공간 데이터 및 분석 수단을 제공하고 있다.

도시의 지형을 고려한 전파의 도달 가능한 범위인 통신 커버리지의 정의에 있어서, 가시성(LOS: Line of Sight)은 안정적인 통신 경로 확보를 위한 주요한

요구사항이다. 도시에서 가시성을 보장하기 위한 방법은 도로를 통해 가능하다. 따라서 도로의 인식은 센서노드 배치를 위해 가장 우선적으로 해결되어야 한다. 그러나 수치지도는 도로 중심 레이어를 제공하지 않기 때문에 도로망 지도 데이터를 활용하여 도로 중심선을 추가로 생성하도록 지리정보 시스템을 확장하였다. 이를 통해, 수치지도에서 도로 주변에 존재하는 도로의 폴리 라인과 건물의 폴리곤 레이어를 추출하고, 자동화된 경로손실 계산이 가능하다. 또한, 지리정보 시스템은 센서노드 설치 과정에 항공사진 영상과 수치지도 레이어를 중첩하는 기능을 제공한다는 장점이 있다(그림 2).

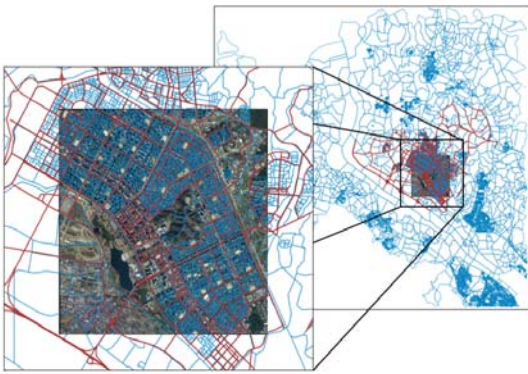


그림 2. 수치지도와 항공사진, 도로망 통합 뷰

경로손실 측정치의 보정 관점에서 항공사진 활용은 도시내 전파 송수신에 영향을 미치는 주요한 요소들인 가로수, 교차로 등에 대한 파악이 가능하며, 이를 고려한 설치 대상지역의 범위와 위치 등에 따라 추가로 경로손실에 반영되며, 그 결과로 경로손실 예측치의 오차 범위를 최소화할 수 있다.

도로는 공간 데이터 분석을 통해, 도로 중심선 레이어(그림 2에서 빨간색)로 인식되고, 기본적으로 센서노드의 통신 커버리지는 중심선 레이어를 따라 확정하는데 사용된다. 이때, 센서노드의 설치 위치는 앞에서 설명한 도로 주변 건물 폴리곤 정보를 활용하여 계산된 송수신기간의 경로손실을 고려하여 결정하며, 실제 설치를 위해서는 도로 주변으로 이동시켜줘야 하며, 이때 경로손실에 추가의 부담을 부가한다. 기본적으로, 전역적인 센서 배치는 지형공간 정보를 활용한 이러한 과정들의 반복으로 도로 중심선 레이어로부터 교차로를 찾고 교차로 지점에서부터 다음 교차로 지점까지 센서노드를 배치하는 방식

을 사용한다. 교차로를 먼저 찾는 이유는 검색알고리즘에서 복잡한 재귀연산 구현을 방지할 수 있으며 [11], 교차로와 교차로간의 직진성의 도로상에 설치 위치만을 고려하여 1차적인 가시성 보장이 가능하기 때문이다.

2.3.2 DEM과 DSM

무선 센서네트워크에서 전파는 지형, 건물, 수목의 영향을 받는 것으로 알려져 있으며, 건물과 같은 요소들은 수치지도를 통해 필요한 정보를 제공받을 수 있다. 또한, 기본적으로 도로에 배치함에 따라 1차적인 가시성 보장이 가능하다. 하지만, 지표의 고도 차이로 인해 가시성 보장이 제한될 수도 있다. 따라서 지형 정보에 의한 2차 가시성 보장이 고려되어야 한다.

이를 위해, 수치표고모델(DEM:Digital Elevation Model)과 수치표면모델(DSM:Digital Surface Model)을 센서노드 배치 알고리즘에 적용하였다.

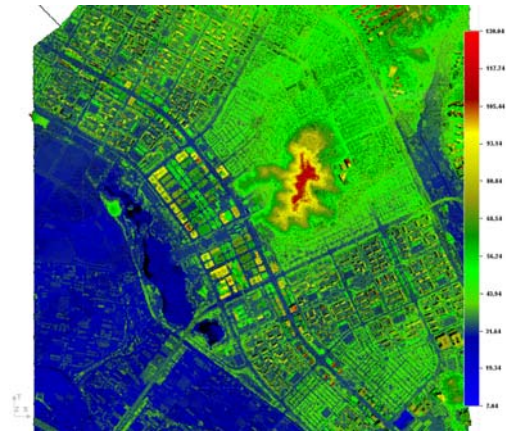


그림 3. 일산 도시지역의 항공 라이더

특히, 무선 센서노드의 안테나 설치위치는 지표면에 근접하므로(보통 2~3m), 2차 가시성 보장은 매우 중요하다. 본 논문에서는 지리정보 시스템에 통합된 항공 라이더(Lidar) 데이터를 사용하여 해당 도로 중심선 상의 인접한 두 센서노드간의 가시성을 보장하는데 활용하고자 한다.

3. 센서노드 위치 보정 알고리즘 및 분석

이 장은 지리정보 시스템을 활용한 무선 센서네트워크에서의 센서노드 배치 방법으로, 도로 주변 환

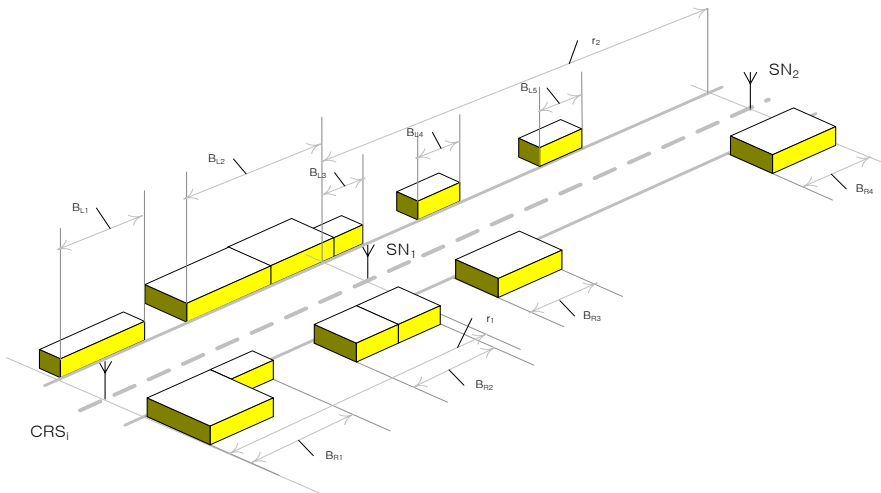


그림 4. 도로 환경에서 경로손실감쇄지수 평가

경 정보와 실측 실험을 통해 얻은 경로손실치간의 상관관계를 정의한 후, 이를 바탕으로 보다 정확한 센서노드 위치 설정 방안에 대해서 기술한다. 구체적으로, 실험을 통해 다양한 주변 환경요소를 감내하는 대표 요인과 이에 대한 실험, 그리고 실험 결과를 활용한 위치보정 알고리즘에 대해 설명한다.

3.1 경로손실 측정 및 분석

이동 통신과 같은 무선 통신에서는 고정되고 높은 위치와 광역의 커버리지, 그리고 이의 중첩 구조를 갖는 기지국 셀 구성을 통해, 이동성(Mobility) 제공이나 서비스 품질(QoS) 보장과 같은 고급 기능을 제공하고 있다. 반면에, 무선센서네트워크는 이동 통신과 달리 저전력 환경에서 가급적 가시성이 보장되는 제한적인 커버리지를 고려하여야 하며 또한, 그 특성상 지표면에 근접하여 설치되어야 한다는 제약이 있다. 이러한 이유 때문에, 무선센서네트워크의 대표적인 환경 영향 요소는 주변의 지형 및 지물로 알려져 있다. 최근 지리정보 시스템의 연계를 통해 도심의 각종 지형/지물 정보의 활용이 용이해짐에 따라, 무선센서네트워크 분야의 여러 문제점 해결을 위해 지형/지물 정보의 활용에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

도로 환경에서 전파 경로손실에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 지표반사파와 유사하게 주변 건물에 의한 반사로 알려져 있어, 최근 [3]에서는 2-ray 지상 반사 모델의 확장과 송수신 센서노드 사이의 대표 간섭 요인의 고려만으로 경로손실을 규정하고 있다.

본 논문에서도 경로손실 모델로서 식(1)의 경로손실 감쇄지수 α 와 도로 주변 지리정보와의 상관관계를 규명하고 이를 활용하고자 한다. 먼저, 지리정보와 식(1)의 경로손실 감쇄지수간의 상관관계를 평가하기 위한 실험은 경기도 고양시 일산에서 수행되었으며, 도시의 전파 환경에서 얻어진 실제 무선 채널 데이터베이스를 기반으로 전파 손실 특성을 분석하였다. 실험에서는 지리정보 시스템에서 추출된 송수신기의 전파 경로 상에 존재하는 간섭 영향을 주는 건물의 구간 길이를 활용하였다. 이때, 건물 밀도는 제시된 송수신 안테나 사이에 터널 효과[8]를 내는 도로 양쪽에 면한 2D(two-dimension) 상의 이러한 건물 구간의 합을 송수신 안테나간의 거리로 나눈 값으로 정의되며, 0~2사이의 값이 된다. 즉, 그림 4에서 두 센서노드(CRS₁와 SN₁)간의 건물에 의한 간섭 영향은 송수신구간내 건물 구간 계수 $(B_{L1}+B_{L2}+B_{R1}+B_{R2})/r_1$ 과 실측한 수신감도(RSSD)간의 선형회귀 분석 방법을 통해 정의하였다. 마찬가지로, SN₁과 SN₂의 건물 구간 계수는 $(B_{L4}+B_{L5}+B_{R3}+B_{R4})/r_2$ 로 정의할 수 있다. 실험에서, 송수신기가 모두 지표면에 근접하게 배치됨에 따라, 중단거리가 미치는 영향을 고려하여야 하며, 우리의 실험결과에서 송수신 안테나 높이가 각각 1.8m인 상태에서, 중단거리는 90m 전후에서 관측되었다.

그림 5는 건물 구간 길이를 고려하여 측정된 경로손실감쇄 지수와의 관계를 보인다. 이를 위해, 지리정보 DB를 활용하여 건물 구간별로 일산 도심의 주요 도로에서 수신신호강도 데이터를 반복적으로 수

집하였다. 수집된 수신신호강도를 바탕으로, 주변 건물 구간 비율(d)과 r_{bp} 를 고려하지 않은 경로손실감쇄 지수(α)와 r_{bp} 에 의해 구분되는 두 경로손실감쇄 지수(α_1, α_2)간의 선형 관계를 그림 5와 같이 얻을 수 있었다.

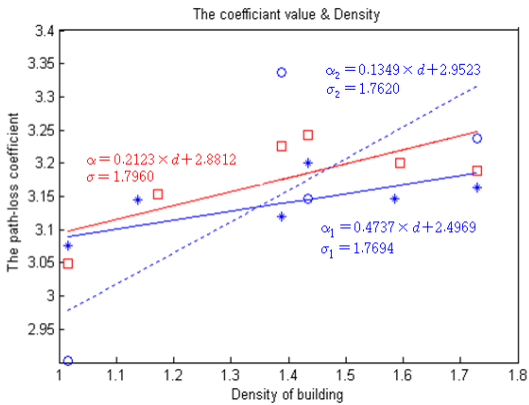


그림 5. 경로손실감쇄 지수 비교(Pt=10dBm)

과적으로, r_{bp} 를 고려한 경우의 정확도가 보다 높으므로($\sigma_1, \sigma_2 < \sigma$), r_{bp} 전후에 개별적인 두 개의 경로손실치 적용을 통해 허용되는 RMS 오류 범위내의 다음 식(3)과 같은 근사 모델링이 가능함을 알 수 있다.

$$\alpha_{1,2} = \begin{cases} 0.4737 \cdot d + 2.4969 & \text{for } r < r_{bp} \\ 0.1349 \cdot d + 2.9523 & \text{for } r \geq r_{bp} \end{cases} \quad (3)$$

즉, 송수신기간의 거리(in meter) r이 중단거리 이내인 경우에는 α_1 을, 중단거리 범위를 벗어난 경우에는 α_2 를 경로감쇄지수로 사용할 수 있다.

이와 같은 건물 간섭 구간에 의한 경로손실 보상 방식은 추가 보상과 함께 기존 방식들과는 달리 GIS DB로부터 비교적 계산이 용이한 최소 요소(건물 밀도, 교차로, 도로 횡단과 같은)만을 사용하여 손실을 예측할 수 있으며, 이를 통해 전역 센서노드 배치 시스템의 처리 시간 비용을 최소화하고 근사화된 예측 결과의 활용을 통해 보정이 가능하도록 하는데 그 특징이 있다.

이를 통해, 가시성을 전제한 환경에서, 보정된 두 경로손실감쇄지수는 주변 건물 등에 의한 간섭 영향으로 고정 송신전력대비 거리와 경로손실감쇄 지수

관계로 $P_r \propto r^{-\alpha}$ ($2.5 \leq \alpha' \leq 3.7$)이 관측되었다. 또한, 지표 반사파에 의한 오차를 줄이기 위해 보정된 경로손실감쇄 지수 활용에 의한 예측은 실측 대비 거리의 변화에 대해 일정 수준의 RMS 오류로 균일하게 나타나 기존 방식과 차이를 보였다. 특히, 본 논문의 예측 방식은 충분한 계산 자원과 세부 모델 요소를 활용하는 [6, 7]의 정확성(<4.0 dB)을 만족하지는 못하지만, 본 논문의 예측 방식과 유사하게 제한된 계산 자원만을 활용해야 하는 기존 연구들[3, 4, 5]의 RMS 오류 수준(4.1~6.4 dB)을 만족하고 있다. 건물 구간 비율이외에 도로상의 장애물, 교통량, 가로수 등의 여러 동적 요소들에 대한 고려도 필요하며[11], 이 요소들을 활용하여 해당 도로의 경로손실로부터 통신 거리를 유도하여 가능한 통신 커버리지를 구성할 수 있다.

3.2 GIS기반 센서배치 알고리즘

개별 송수신기간의 거리와 주변 건물 밀도와 경로손실감쇄 지수간의 선형 관계에 대해 회귀 분석한 결과를 활용하여 허용가능한 오류 범위내에서 경로손실 평가가 가능함을 확인하였다. 이러한 경로손실 평가와 실제 GIS DB의 구조적 정보들을 활용하여, 전체 도심을 대상으로 효율적인 배치 전략에 활용할 수 있다.

지형공간 정보를 반영한 경로손실 측정은 도로를 중심으로 평가되는데, 이를 위해, 먼저 기초단위구 공간데이터, 도로 중심선 공간데이터를 활용한다.

그림 6은 센서노드 배치 지역인 고양시 일산 정발산 주변의 기초단위구 데이터 위에 도로 중심선 공간데이터로부터 추출된 도로 중심선 레이어(RCL : Road Center Layer)를 중첩하여 도식한 결과를 보인다.

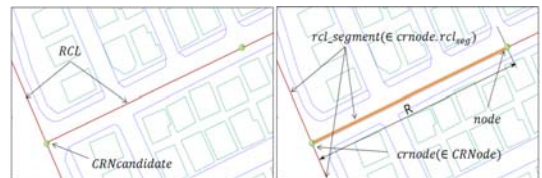


그림 6. 배치에 활용되는 주요 지형 정보

센서노드 배치에 활용되는 주요 지리정보를 바탕으로 도심에 센서노드의 위치를 결정하기 위한 배치 알고리즘은 다음과 같으며, 두 단계의 처리 과정을

통해 이루어진다.

```

1:SensorNodeDeploy()
2:begin
3: RCL = RoadCenterLayer(GIS DB)
4: CRNcandidate = CrossedRoadNodeLayer(RCL)
5: for ( crn_cand ∈ CRNcandidate )
6:   if ( crn_cand.cross_no > 3 )
7:     crn_cand.rcl_seg =RCLsegment(crn_cand)
8:     crn_cand.adjust_crn_cand.rcl_seg
9:       -= crn_cand.rcl_seg
10:    CRNode += crn_cand
11:   end if
12: end for
13:
14: for ( crnnode ∈ CRNode )
15:   for ( rcl_segment ∈ crnnode.rcl_seg )
16:     node = crnnode
17:     while (1)
18:       if ( not rcl_segment.hasLOS(node, R) )
19:         R -= R/2
20:         continue
21:       end if
22:       r=RoadPathloss_corr(rcl_segment,node,R,L)
23:       if ( node.length(r)>rcl_segment.len )
24:         break
25:       end if
26:       node = rcl_segment.createSNLoc(node, r)
27:     end while
28:   end for
29: end for
30:end

```

그림 7. 센서노드 위치 보정 알고리즘

먼저, 전처리 과정에서, 도로 중심선 레이어(RCL)로부터 교차점 후보(CRNcandidate)들을 추출한다(Line 4). 이후, 교차점 후보로부터 도로 차선 정보 등을 이용하여 중심선 레이어가 3개 이상이 경우, 교차로 노드(CRN:Cross Road Node)로 선정되며(즉, crnode), 연결된 도로는 각각 중심선 레이어 세그먼트($rcl_segment_i \in crnode.rcl_seg$)들로 식별된다. 또한, 도로 중심선 레이어가 2개이지만 단위 통신 커버리지내 두 지점간의 직진성이 보장되지 않을 경

우 역시 교차로 노드로 선정된다(Line 6~12). 후처리 과정으로, 선정된 crnode에서 각각의 중심선 레이어 세그먼트에 대해, $rcl_segment.hasLOS(node, R)$ 을 통해 node로부터 거리 R만큼 떨어진 위치에 대한 가시성 평가가 이루어진다(Line 18). 평가 결과 가시성이 보장될 경우, crnode로부터 거리 R 위치는 새로운 센서노드(node)의 위치로 설정된다(Line 26). 만일, 가시성이 보장되지 않을 경우 R의 축소와 반복적인 가시성 평가 적용을 통해 가시성을 확보할 수 있다(Line 18~21).

센서노드간의 고도차에 의한 가시성을 보장하기 위해 DEM(Lidar) 데이터를 사용하였다. 우리는 송수신 안테나간의 지형/지물의 고도 차이가 2m 이상일 경우, 가시성이 확보가 되지 않는 것으로 판단할 수 있다.

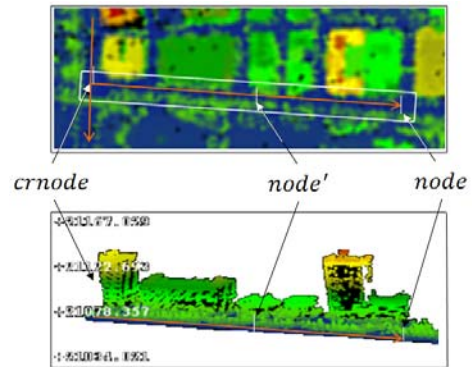


그림 8. DEM 적용을 통한 가시성 보장

이러한 경우, 추가의 센서노드(node') 설치가 적용된다.

센서노드 위치 보정 알고리즘의 주요 함수의 기능 및 파라미터에 대한 내용은 다음 표 1과 같다.

3.3 경로손실을 고려한 위치 보정

교차로 노드 crnode에서 가시성이 보장된 거리 R 이 센서노드 위치로 설정되기 위해서는 지표반사파 및 주변 건물에 의한 간섭 효과를 반영하여 실제 통신이 가능한 커버리지 내에 존재하여야 한다. 앞에서, 도로환경에 대한 대표 간섭요인으로 주변건물로부터 경로손실과의 상관관계를 통해 통신 커버리지를 결정하기 위한 실험과 분석 결과에 대해 기술하고 이 결과를 활용한다.

먼저, 다수의 폴리라인과 폴리곤으로 구성된 지리 정보로부터, 송수신 경로상의 주변 건물밀도 계수를

표 1. 주요 함수의 기능 및 파라미터

| 함수 | 기능 및 입력력 |
|--|--|
| RCL=RoadCenterLayer (GIS DB) | GIS DB로부터 도로 중심선 데이터(RCL)를 추출 |
| CRNcandidate=CrossedRoadNodeLayer(RCL) | 도로 중심선 리스트(RCL)로부터 교차로 노드 후보 추출 |
| rcl_seg=RCLSegment (cm_cand) | 후보 교차로 노드 cm_cand와 연결된 개별 도로 중심선 세그먼트(rcl_seg) 추출 |
| rcl_segment.hasLOS (node,R) | rcl_segment에서 노드 node와 거리 R 위치간 LOS 가능 여부(True or False) |
| RoadPathloss_corr(...) | 주어진 파라미터로 통신 가능한 거리 r을 계산(3.3절에서 자세히 설명) |
| node.length(r) | 교차로 노드에서 node를 지나 거리 r까지의 길이(in meter) |
| rcl_segment.createSNLoc (node, r) | rcl_segment에서 node로부터 거리 r위치를 새로운 센서노드 위치로 생성후 반환 |

추출하기 위한 과정이 필요하다. 이를 위해, 가시성이 보장되는 두 센서노드(sn_i 와 sn_{i+1})간 영향 구간($r \times C_{width}$)의 클리핑(clipping)을 통해 계산 범위를 결정한다.

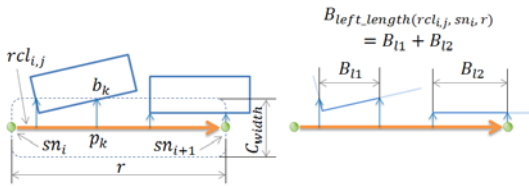


그림 9. 주변 건물영향 요소 결정

즉, 두 센서노드의 위치를 P_i 라 P_{i+1} 할 때, $\overrightarrow{P_i P_{i+1}}$ 상의 한 위치를 p_k , 건물 폴리곤 내의 b_k 에 대해 다음을 만족할 경우 영향 구간 요인으로 판정한다.

$$\begin{aligned} \overrightarrow{P_i P_{i+1}} \cdot p_k b_k &= 0, \\ \|\overrightarrow{p_k b_k}\| &\leq \frac{C_{width}}{2} \end{aligned}$$

예를 들어, 이 조건을 만족하는 건물 길이 B_{11} 과 B_{12} 에 대해, sn_i 와 sn_{i+1} 간의 왼쪽 건물구간 계수 B_{left_length} 는 $B_{11}+B_{12}$ 로 나타낼 수 있다(그림 9). 이와 동일한 방식으로, B_{right_length} 를 구할 수 있으며, 얻어

진 건물 구간 계수($B_{density}$)를 활용하여 거리-경로손실 상관관계에 적용하여 통신 거리 r 을 얻기 위한 과정인 $RoadPathloss_corr(rcl_segment, node, R, L)$ 은 다음과 같다.

```

1: RoadPathloss_corr(rcl, sn, r, l)
2: RCLsegment rcl
3: SensorNode sn
4: StreetLength r
5: AdditionalLoss l
6: begin
7: while
8:  $B_{density} = \frac{B_{left\_length}(rcl, sn, r) + B_{right\_length}(rcl, sn, r)}{r}$ 
9: if (  $r > r_{bp}$  )
10:  $a = 0.1349 \times B_{density} + 2.9523$ 
11: else
12:  $a = 0.4737 \times B_{density} + 2.4969$ 
13: end if
14:  $pl = 10 \times a \times \log_{10}(r) + l + E_S$ 
15:  $pl' = pl - PL_{max}$ 
16: if (  $pl' < 0$  )
17:   if (  $|pl'| < PL_{margin}$  ) return r
18:    $r = r + \frac{r}{4}$ 
19:   else
20:      $r = r - \frac{r}{4}$ 
21:   end if
22: end while (1)
23: end
    
```

그림 10. 건물구간 비율과 경로손실을 고려한 거리 추정 알고리즘

이러한, 거리 추정 알고리즘은 앞의 식(3)에서 얻어진 실험 결과의 반영하고 있으며(Line 9~13), 보다 구체적이고 신뢰성 있는 실험 결과의 반영에 따라 변경될 수 있다.

알고리즘에서 사용된 보정 상수는 표 2와 같다. 표에서 최대 경로손실(PL_{max})은 송신기의 출력과 수신기의 수신감도 차에 의해 통신이 이루어지기 위해 필요한 한계 경로손실치이며, 경로손실 여유값(PL_{margin})은 이 값에 대한 여유(margin)를 부여하는데 사용된다.

RMS_{error} 는 이 장에서 설명한 거리-경로손실 상관

관계식의 최대 오류값이다.

표 2. 위치 보정 파라미터

| Parameter | Value |
|----------------------------|-------|
| PL margin(PL_{margin}) | 3dB |
| PL max(PL_{MAX}) | -95dB |
| RMS error(E_{RMS}) | 5dB |

3.4 센서배치 시스템 구현 및 결과

지리정보 시스템은 PostGIS를 기반으로 수치지도와 항공사진 DB 등을 활용하였고 경기도 고양시 일산 지역을 대상으로 구축되었다.

지형/지물 등에 대한 공간 데이터 분석 서버는 PostGIS에 JDBC로 연결하고 GeoTools와 PostGIS API를 사용하여 구축하였으며, 맵 렌더링은 Geo-Server를 사용하였다. 사용자는 지도 데이터를 WMS 형태로 가져오며, 웹상의 지도에서 선택한 지점의 좌표에 해당하는 객체의 좌표와 속성을 GML을 통하여 추출할 수 있다.

그림 11은 [9]에서 도로 중심선 레이어를 이용하여 등거리 간격으로 센서노드를 배치한 연구 결과이다.

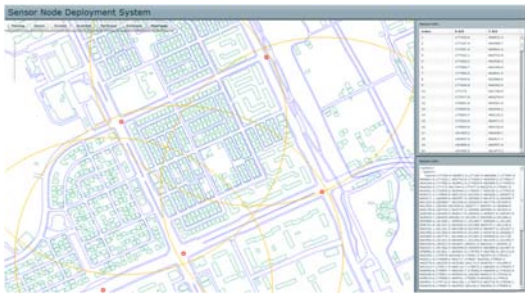


그림 11. 등간격 기반 배치

이 배치 방법은 구현 및 연산속도 등의 부분에서는 장점이 있으나, 등간격이 지나치게 클 경우 통신 커버리지를 벗어나게 될 수 있으며, 너무 작은 경우에는 불필요한 배치로 인해 네트워크 부하 요인이 될 수 있다. 센서노드 배치에서 센서노드의 위치를 결정하기 위해서는 목적에 따라 타당하고 정량화된 기준이 필요하다. 이에 비해, 그림 12는 본 연구의 결과로서 등거리 간격배치로 발생되었던 환경요인 미반영으로 인한 통신 신뢰도 하락, 제한된 송신 전

력 제어 등이 개선될 수 있음을 확인 할 수 있다.



그림 12. 경로손실 기반 배치 방법

먼저, 두 센서노드 sn1, sn2는 462m거리로 주변 간섭 요인을 고려하지 않은 경우, 서로 통신 커버리지 내이지만, 경로손실 기반 배치 방법에 의해 간섭 요인을 고려하여 평가한 경우 94.4dB의 경로손실이 존재함을 알 수 있고, $PL_{sn_1,sn_2} > PL_{max}$ 이므로 현장 실측 없이 5dB 오류 범위 내에서 통신 구간이 아님을 판단할 수 있다. 마찬가지로, sn3와 sn4의 경우도 거리 465m에 대해, 간섭 요인을 고려하여 보정된 경로 감쇄지수가 3.66이고 이에 의해 평가되는 경로손실 PL_{sn_3,sn_4} 는 102.42dB이며, 역시 $PL_{sn_3,sn_4} > PL_{max}$ 이므로, 새로운 센서노드 sn5의 추가가 필요하다. sn5의 위치 설정에도 경로손실치에 의한 평가는 또 다른 기능을 제공할 수 있다. sn3와 sn4 사이의 sn5 위치 역시 경로손실감쇄지수에 의해 확정할 수 있으며, 최적의 위치를 제시할 수 있다. 배치 알고리즘은 표 3과 같이 sn3로부터 257m에 위치한 지점을 제시한다.

표 3. 등간격 배치와 경로손실기반 배치 비교

| 센서노드 | 등간격배치/경로손실 기반 배치 | 결과 |
|----------------------|--|---------------------------|
| sn3, sn4 - r=465m | $PL_{sn_3,sn_4} > PL_{max}$ ($PL_{sn_3,sn_4} = 102.42dB$) | 통신 불가 |
| | $PL_{sn_3,sn_5} < PL_{max}$ ($PL_{sn_3,sn_5} = 91.06dB$) | r=257m margin=3.94dB |
| | $PL_{sn_4,sn_5} < PL_{max}$ ($PL_{sn_4,sn_5} = 90.98dB$) | r=208.27 margin=4.02dB |

이에 대한 근거는 sn_3 와 sn_5 간의 보정된 경로손실 감쇄 지수는 3.57이고 이에 따라 두 센서노드간의 경로손실은 우리의 경로손실 평가 방식에 따라 91.06 dB가 된다. 또한, sn_5 에서 sn_4 까지의 거리는 208.27m이며, 평가된 경로손실은 90.98dB로 평가할 수 있다. 새로운 센서노드 sn_5 가 배치되어야 하는 두 센서노드 sn_3 과 sn_4 간에 최대한 유사한 경로손실치를 갖는 위치로 설정될 경우, sn_5 는 양방향 송신 출력의 제어를 통해, 보다 작은 전송 출력으로 충분한 통신 커버리지를 보장할 수 있는 효율적인 에너지 관리가 가능하기 때문이다. 이 경우, sn_5 는 sn_3 와 sn_4 로의 송신전력에 대해 대략 4.0dB의 여유(margin)를 추가 확보할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 GIS를 기반으로 도시의 무선 통신 환경이 전파에 미치는 영향 요인을 평가하고, 이를 반영한 무선 센서노드 배치 알고리즘에 대해 기술하였다.

일반적으로, 무선 센서노드 배치는 현장 실측을 통하거나 때로 임의의 설치가 적용되는데, 이는 무선 센서노드들간의 단절 등의 문제뿐만 아니라 많은 관리 비용 소요가 있다. 그 이유는 지형/지물 등에 의한 간섭과 이의 원인인 주변 건물 등과 같은 환경요인이 고려되지 못하기 때문이다.

이를 해결하기 위해, 본 논문에서는 경기도 고양시의 다양한 도로 환경에서 전파의 손실 특성 실험치를 수집하였고, 주변 건물에 의한 간섭 요인과의 상관관계 정의를 통해 5dB이하의 오류 수준으로 경로손실을 평가할 수 있었다. 이러한 실험 결과를 바탕으로, 센서노드 배치 과정에서 지형/지물 데이터, 라이다에 의한 지표 고도 데이터, 그리고 항공사진 정보와 같은 다양한 GIS 정보들의 활용과 연계 절차를 통해, 전파에 영향을 많이 미치는 건물이나 도로의 선형 구조를 반영할 수 있었다. 특히, 본 논문의 예측 방식과 유사하게 제한된 계산 자원만을 활용해야 하는 기존 연구들[3, 4, 5]의 RMS 오류 수준(4.1~6.4 dB)을 만족하는 성능을 제공하고 있으며, 용이하게 계산될 수 있고 확장 가능한 GIS 정보와의 연계 및 공간 정보 처리 알고리즘들을 통해 효과적이고 정확한 센서노드 배치에 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

향후 추진되어야 할 과제들로, 실험에 기반을 둔 경로손실 평가와 지형/지물에 의한 간섭 요인 평가를 통해 무선 센서노드간의 통신 커버리지 검증은 일정 부분 확보되었으나, 실제 현장에서 통신 검증도 차후에 이루어져야겠다. 지리정보 시스템 측면에서 공간데이터, DEM(Lidar) 및 기초 단위구 데이터에 의해 생성되는 도로 중심선 세그먼트들의 연산은 설치 대상지역의 크기에 비례하여 연산 속도가 현저하게 증가하는 특징을 가지고 있어, 이에 대한 알고리즘 수준의 보완책이 필요하다. 또한, 데이터 측면에서, 수치지도상의 도로와 도로망 데이터 지도의 중심선과 같은 지리정보 시스템내의 각종 데이터간의 일치성과 일관성에 대한 작업도 일부 필요함을 관찰할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Leonardo Carisio and A.J.M. Soares, 2010, "Simplified Characterization of the Urban Propagation Environment for Path Loss Calculation", IEEE Transaction on Antennas and Propagation, vol. 58, no. 1.
- [2] Vittorio Degli-Esposti, Franco Fuschini, Enrico M. Vitucci, and Gabriele Falciasecca, 2009, "Speed-Up Techniques for Ray Tracing Field Prediction Models", IEEE Transaction on Antennas and Propagation, vol. 57, no. 5.
- [3] Keith T. Herring, Jack W. Holloway, David H. Staelin, and Daniel W. Bliss, 2009, "Path-Loss Characteristics of Urban Wireless Channels", IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol. 58, no. 1.
- [4] A. G. Kanatas and P. Constantino, 2000, "A Propagation Prediction Tool for Urban Mobile Radio Systems", IEEE Transaction on Vehicular Technology, vol. 49, no. 4, pp. 1348-1355.
- [5] Yasuhiro Oda, Koichi Tsunekawa, and Masaharu Hata, 2000, "Advanced LOS Path-Loss Model in Microcellular Mobile Communications", IEEE Transaction on Vehicular Technology, vol. 49, no. 6, pp. 2121-2125.
- [6] A. J. Rustako, N. Amitay, G. J. Owens, and R.

- S. Roman, 1991, "Radio Propagation at Microwave Frequencies for Line-Of-Sight Microcellular and Personnel Communication", IEEE Vehicular Technology, vol. 40, pp. 203-210.
- [7] T. K. Sarkar, Zhong Ji, K. J. Kim, Abdellatif Medour, and Magdalena Salazar-Palma, 2003, "A Survey of Various Propagation Model for Mobile Communication", IEEE Transaction on Antennas Propagation, vol. 45, no. 3, pp. 51-82.
- [8] Y. P. Zhang and Y. Hwang, 1998, "Theory of the Radio-wave Propagation in Railway Tunnels", IEEE Transaction on Vehicular Technology, vol. 47, no. 3, pp. 1027-1036.
- [9] 강진아, 남상관, 권혁중, 오윤석, 2009, "도시지상 시설물 관리를 위한 최적 센서노드 배치 방법", 한국지리정보학회지, 제12권 4호, pp. 158-168.
- [10] 김대영외 6인, 2008, "센서의 성능에 미치는 환경 요소들에 기반한 센서 노드 배치 방법", 한국통신 학회논문집, 제33권 10호, pp. 894-903.
- [11] 배명남, 강진아, 최병철, 이병복, 이인환, 남상관, 2011, "도심 무선 센서 네트워크 환경에서 LOS기반 경로손실 측정 및 평가", 한국정보과학회 논문지-정보통신, 제38권 5호, pp. 410-416.
- [12] 이재일, 오병우, 2009, "GPU를 사용한 효율적인 공간 데이터 처리", 한국GIS학회지, 제17권 3호, pp. 371-379.
- [13] 정성은, 이우균, 곽두안, 최현아, 2008, "LiDar의 높이 및 밀도 정보를 이용한 도시지역의 3D기반 분류", 한국GIS학회지, 제16권 3호, pp. 373-383.

논문접수 : 2011.10.19
수정일 : 2011.12.01
심사완료 : 2011.12.19



배명남

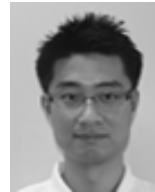
1991년 전북대학교 전자계산학과 학사
1993년 전북대학교 전자계산학과 석사
1998년 전북대학교 전자계산학과 박사
1998년~현재 한국전자통신연구원
USN기반기술연구팀 책임연구원

관심분야는 시스템 소프트웨어, 개방형 통신 미들웨어, 무선전송



권혁중

1999년 건국대학교 농공학과 학사
2005년 인하대학교 지리정보학과 석사
2005년~현재 ㈜웨이버스 기술연구소
관심분야는 GIS, 사진측량, 공간데이터베이스



강진아

2006년 인하대학교 지리정보학과 학사
2008년 인하대학교 지리정보학과 석사
2008년~현재 한국건설기술연구원
유비쿼터스 국토연구실 연구원
관심분야는 사진측량, 컴퓨터비전, 3D

GIS, 센서 네트워크 등



이인환

1988년 한양대학교 전기공학과 학사
1990년 한양대학교 전기공학과 석사
2011년 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사

1990년~1993년 (주)동아전기 연구원
1993년~현재 한국전자통신연구원 USN기반기술연구팀장

관심분야는 RFID/USN, 무선 통신