

다중 공간변수와 전파예측 모델을 통합한 USN 중계 경로망도 제작[†]

Mapping USN Route by Integrating Multiple Spatial Parameters into Radio Propagation Model

김진택* / Jin-Taek Kim, 엄정섭** / Jung-Sup Um

요약

USN의 중계경로에 대한 연구는 주로 비공간 데이터를 위주로 이루어지고 있으며 지도 중첩법에 의한 공간분석이 이루어지지 않아 신뢰성에서 한계를 노출하고 있다. 본 연구는 공간변수별로 가중치를 부여하고 전파 확산 예측모델과 연계하여 전계강도를 산출하고 이에 의거하여 중계망의 분포를 지도화하였다. 전파장애에 개입되는 다양한 공간 변수를 통합하여 제작된 컴퓨터 지도는 기존에 조사지점에만 국한된 통계 수치정보가 지닌 한계를 극복하고 시청각 효과를 이용하여 광역적인 중계망 변화 추이를 시각적으로 제시하였다. 개별 셀과 연구지역 전체에 대해 전파중계망에 대한 정량적인 근거는 다양한 자료처리능력, 신속성을 바탕으로 지금까지는 불가능했던 전파 중계망에 대한 실시간 지도화 기능을 제공하였고 노드의 장애가 발생하였을 경우 대안을 마련하기 위한 보조수단으로서 활용가치가 매우 높을 것으로 사료된다.

Abstract

Previous studies for routing in USN (Ubiquitous Sensor Networks) appear to be unreliable due to the dependence on non-spatial data and the lack of map overlay analysis. Multiple spatial parameters and radio propagation modeling techniques were integrated to derive RSSI (Received Signal Strength Indicator) value between route nodes and produce a highly reliable path map. It was possible to identify area-wide patterns of USN route subject to many different influences (e.g. the specific effects of radio blocking factors such as the visible area, road area, cell duplicated area, and building density), which cannot be acquired by traditional non-spatial modeling. The quantitative evidence concerning the USN route for individual cell as well as entire study area would be utilized as major tools to visualize paths in real-time and to select alternative path when failure or addition of route node occurs.

주요어 : 유비쿼터스 센서 네트워크, 중계망 지도, 다중 공간변수

Keyword : USN (Ubiquitous Sensor Networks), Route Map, Multiple Spatial Parameters

[†] 이 논문은 2007년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음

■ 논문접수 : 2008.2.11 ■ 심사완료 : 2008.3.14

* 대구소방본부 정보통신팀(kjt119@daegumail.net)

** 교신저자 경북대학교 사회과학대학 지리학과 교수(jsaeom@knu.ac.kr)

1. 서 론

USN의 설계에 있어서 일반적인 경우에는 격자망을 구성하여 센서노드와 중계노드를 일률적으로 배치하는 방법론을 따르고 있다. 그리고 현장에서의 테스트 과정에서 발생하는 전파의 송수신 정도를 일일이 측정하여 배치를 이동하고 조정하고 있으며, 음영구간이라고 판단되는 곳에는 중계노드의 인근지역이어서 중복되더라도 추가로 중계노드를 설치하고 있다. USN 커버리지의 확장과 통신품질을 높이고자 음영구간을 최소화하기 위해 중계노드를 추가하는 것은 라우팅의 증가와 아울러 긴 전송시간이 소요되어 실시간 통신을 제한시키는 요인이 된다.

USN 센싱데이터의 중계를 위해 노드간 전송 Hop 수는 일정하게 유지할 필요가 있다. 특히 실시간 서비스 용도의 USN에는 적정한 수준이하의 라우팅이 요구된다. 이와 같은 문제를 해소하는 방법으로는 싱크노드 즉 게이트웨이를 추가로 증설하는 것이지만 중계노드나 싱크노드 수의 증가는 비용증가와 네트워크의 속도에 문제를 야기한다.

USN 중계망 배치에 대한 연구는 대부분 주요 조사지점 몇 군데를 정하고 그 지점에서 측정한 전계강도의 분포 형태와 주요 영향권, 컴퓨터 시뮬레이션 등에 주안점을 두고 있다^{1), 2), 3)}. 네트워크 배치에서 공간적인 특성의 중요성을 언급하는 일부 연구가 확인되고^{4), 5), 6)} 중계망을 지도로 표현한 연구가 있지만^{7), 8)} 다양한 공간 변수를 전파확산 모델과 연계하여 중계망 지도를 제작한 선행연구는 보고되지 않는다. 토지이용이나 고도 등 다양한 공간변수를 고려하여 전파강도를 예측하는 연구가 있지만⁹⁾,¹⁰⁾ USN을 대상으로 중계망 경로도를 가지적으로 제작한 사례를 나타내지 않는다.

표, 그래프나 그림에 의거한 미시적인 경로망 정보로는 그 규모나 형태적인 특성으로 인해 USN의 핵심 요소로 작용하고 있는 공간변수, 특히 건물과 도로 등을 거시적인 관점에서 인식하는 데 한계가 있다. 조사자가 현지를 방문하여 지형지물을 파악하고 조사지점의 중계 경로망을 파악하는 방법은

전통적으로 경로망 조사에서 사용되는 방법이기도 하나, 전적으로 현지조사에 의존하는 상당히 원시적인 정보의 형태이다. 위와 같은 현지조사 중심의 경로망 조사는 조사 지점 선정과정에서 조사자의 주관적 판단이 많은 영향을 미치고, 현지조사 과정에서 소요되는 인력과 비용때문에 측정할 수 있는 범위에 상당한 한계가 있다. 현행 정보전달 방식은 특정지점의 전계강도의 단편적인 분포치를 보여주는 수준에 머물러 있어 지역별 전계강도의 분포차이, 시기별 전계강도의 증감추세 등 중계망의 광역적인 변화 추이에 대한 시각적인 정보를 입수하는 데 상당한 한계가 있다. 결국 미시적이고 국부적인 중계망보다는 전파환경에 기반을 둔 거시적인 전파 중계망에 대한 근원적인 이해가 선행되어야 전파의 중계망에 대한 올바른 정보를 제시할 수 있을 것이다.

GIS가 대용량의 공간 데이터나 다양한 형태의 데이터를 통합하는 데 유용한 도구임은 다양한 선행연구에서 이미 제시되어 온 바 있다^{11), 12), 13)}. 더구나 다양한 공간데이터와 속성데이터를 결합하여 수요자에게 필요한 새로운 데이터를 창출할 수 있는 것은 GIS가 가진 최대의 장점중의 하나이다. GIS는 전파에 관련되는 다양한 공간변수를 통합하여 전파 중계경로망을 예측할 수 있으며 전계강도의 분포패턴이나 중계망의 분포에 내재되어 있는 보편적인 원리나 법칙 등을 발견하는 기초자료로 활용될 수 있다. USN 중계경로를 효율적으로 관리하기 위해서는 망의 추가, 망의 장애, 예비경로의 지정 등 망 변경요인의 발생에 응용될 수 있도록 GIS 시뮬레이션을 통해 경로망을 설계할 필요성이 제기된다.

따라서 본 연구는 전파의 중계과정에서 개입되는 다양한 공간변수를 통합하여 전계강도를 예측하여 전파 중계망 관련정보 취득과 관련하여 그간 지적되어온 문제점들에 대한 대안을 제시할 수 있는 지를 평가하고자 본 연구가 출발하였다. 즉 RF전파이론에 근거하여 연구지역내 최소의 중계노드를 배치한 상태에서 전계강도를 시뮬레이션하고 그에 따른 중계 경로망도를 제작하는 기법을 제시하고자 한다. 연구의 결과는 USN 권역의 노드 장애 감시, 우회

경로 확보 등 효과적인 USN 모니터링을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다. 본 연구는 사례연구 지역의 선정, 노드 배치를 위한 공간 분석, 전파예측 모델에 의거한 셀별 전계강도의 도출, 중계경로의 예측, 중계경로별 전계강도를 비교 평가하는 방식으로 수행되었다.

2. USN 관련 이론적 배경

2.1 USN 구성요소

USN에는 센서(Sensor) 노드, 중계(Router) 노드, 싱크(Sink) 노드가 있으며 센서(Sensor) 노드는 노드가 배치된 지역의 온도, 습도, 풍향 등 환경 정보와 사물의 상태를 감지하기 위한 센서와 RF Tag나 RF 통신모듈을 기능적으로 일체화하여 하나의 단말로서 역할을 수행한다. 중계 (Router) 노드는 센서노드로부터 수신한 데이터를 싱크노드로 전송하는 기능을 담당하며, 경로설정 알고리즘을 통해 적합한 인접 상위 중계노드로 라우팅한다. 센서노드에서 감지된 신호가 중계노드를 통해 최종으로 전달되는 곳이 싱크 (Sink) 노드이다. 이는 인터넷 등의 기간 통신망으로의 데이터 전송기능을 담당한다.

2.2 이동통신 무선망 : 셀(Cell)

통상 “Cell”이란 기지국에서 전파를 방사하여 통화가 가능한 영역을 말하며, 일반적으로 서비스를 제공하는 기지국이 위치하고 있는 Cell에서 측정된 결과를 도면에 표시하여 망의 신설, 추가 등을 위하여 활용된다. 기지국을 중심으로 셀의 반경이 같다고 가정하였을 때 셀은 정삼각형, 정사각형, 정육각형, 다각형 등으로 표현할 수 있으며, 기지국과 기지국사이에 서로 겹치거나 또는 겹치는 공간 없이 평면을 커버할 수 있다. 셀의 모형 중에서 정육각형

이 시스템을 설계하는데 개념적으로 가장 적합하며 인접 기지국간의 채널간섭 및 셀 확장시 주파수 간섭의 최소화 등의 이점이 있어 셀의 표준으로 사용되고 있다¹⁴⁾.

2.3 전파경로손실과 수신감도

전파경로손실은 전파가 송신안테나에서 방사되어 수신안테나에 도달할 때까지 전파되는 동안의 감쇄량이다. 전파의 특성상 직진경로뿐만 아니라 반사나 회절에 의하여 전파되므로 자유공간상의 전파경로와 건물, 언덕 같은 차폐물이 있는 전파경로는 경로손실 값이 크게 다르게 나타날 수 있고^{15), 16)}, 전파경로손실계산은 예측 및 분석하고자 하는 주파수 대역과 전파 서비스 반경에 따라 달리 적용된다. 이러한 것으로 Mega 셀, Macro 셀, Micro 셀, Pico 셀로 구분¹⁾하여 연구되고 있다. 본 연구와 관련 있는 마이크로 셀은 전송 영역이 좁기 때문에 가시거리 통신이 주로 이루어 지며 송신 안테나가 높고 서비스하는 영역이 넓어 회절파나 반사파에 의해 통신이 많이 이루어지는 매크로 셀과는 차이가 있다. 마이크로 셀에서의 전파는 가시적인 직접파와 회절파 및 반사파에 의해 통신이 되고 있고 모든 방향으로 유사한 크기의 경로손실을 가지므로 Coverage area가 대체로 원형이다.

전파의 도달영역을 표현하기 위해서는 기본적으로 주파수, 송신기 송신전력, 송수신안테나 이득이 필요하다. 전파의 전달경로에서 가장 이상적인 것은 자유공간상의 장애물이 없는 가시선상의 경로이다. 일반적으로 이상적인 전파의 수신전력 공식은 다음과 같다.

$$\cdot \text{수신전력} : P_r = P_t G_1 G_2 \left(\frac{c}{4\pi f d}\right)^2$$

- G1 - 송신안테나 이득, G2 - 수신안테나 이득, f - 주파수, d - 송수신사이의 거리, c - 광속(3 X 10⁸), P_t - 송신측 출력(전력)

1) Mega 셀은 서비스 환경이 100-500Km이고, Macro 셀은 서비스 반경이 35Km 이내로서 가입자 분포밀도가 적은 경우이며, Micro 셀은 서비스 반경이 1Km 이내로 대도시 같은 가입자 분포밀도가 높은 경우에 적용되고, 단말기의 이동속도는 최대 차량속도로 제한된다. Pico 셀은 반경이 50m 이내로 실내에서 서비스되는 경우이다.

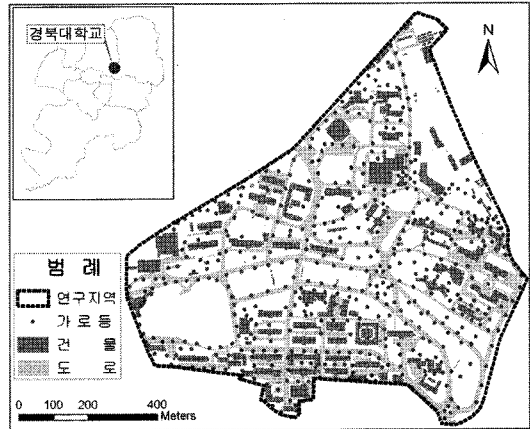
예를 들면 송신출력(Pt : 10mWatt)을 수신감도²⁾로 표현하면 Pr = 10dBm이다. 그러나 전파의 경로손실을 거치면 수신감도는 급격하게 떨어지며, USN에서의 RF 대역의 최소 수신감도는 -94dBm 이상이나 권장되는 최소 수신감도는 -85dBm 이상이다¹⁷⁾.

3. 연구 지역 및 데이터 가공

3.1 연구지역

경북대학교의 지리적 위치는 대구광역시 북구에 소재하며 경위도 상으로 동경 128° 36'~128° 37'의 동서구간과 북위 35° 53'에 위치하며, 지형적인 높이는 약 35-62m로 완만한 구릉지를 이루고 있다. 교내의 면적은 약 782,000m²이고, 건물은 101동이며 폭 3m, 6m, 10m 이상의 도로들이 건물을 연결하고 있다. 연구에 이용되는 가로등은 약 450여 개 설치되어 운용되고 있다.

연구지역은 단지구획이 명확하고, 지형의 고저가 뚜렷하여 가시권과 비가시권의 구별이 가능하다. 또한 건물의 배치상태가 다양하고 도로망이 원활하여 전파환경의 특성을 탐색하기에 용이하며 특히 중계노드 배치예정지인 가로등이 일정간격으로 분포되어 있어 연구지역으로 적합한 것으로 사료된다. 또한 다중이 밀집된 조건에서 건물, 가로수, 지형의 고저 등 전파환경을 평가할 수 있는 다양한 여건을 충족하고 있다. 거주 및 이동인구가 많고, 다수의 대형건물들이 입지하여 상대적으로 위험도가 커서 USN의 설치 우선순위가 높은 지역이기도하다. 비교적 교통량이 적고 차량이 저속으로 운행되고 있어 연구지역내에서 연구용 차량에 RF-Tag 모듈을 장착하고 감지된 자료의 송수신을 테스트할 수 있는 최적의 조건일 것으로 판단되었다 (<그림 1>).



<그림 1> 연구대상지역

3.2 데이터 수집 및 가공

지형데이터는 자료의 정확도를 높이기 위해서 최근의 대구시 1:1,000 수치지도 16도엽을 수집하고, 경북대학교에서 관리하고 있는 가로등은 관리부서와의 협조를 통하여 CAD 도면의 자료로써 수집하였다. AutoCAD Map 2000을 이용하여 수치지형도에서 중계노드 입지분석 및 전파영향분석에 필요한 레이어를 추출하고 16개의 도엽을 하나의 도엽으로 합치는 작업을 수행하였다. 그리고 1m 간격의 등고선 레이어와 표고점 데이터를 추출하고 이를 지형고도자료 제작에 이용하였다. 또한 지형상의 건물높이, 도로폭 등의 지형지물 영향을 고려하기 위하여 관련된 건물, 도로, 도로중심선, 담장선 등을 추출하고 분류하였다. 수집 및 분류된 수치지도를 전파예측용도에 적합하도록 ArcGIS 9.1과 AutoCAD Map 2000 소프트웨어를 활용하여 지형고도 격자(Grid), DTM (Digital Terrain Model) 등을 제작하였다. 가공된 데이터를 활용하여 중계노드의 입지를 결정하는 순서도가 그림 2에 제시되어 있다.

2) 10logPt = 10log10mW = 10dBm, * dBm : 1[mW]단위의 전력을 dB스케일로 나타낸 절대값

3.3 연구수행범위

USN은 물리적 특성 (빛, 압력, 습도 등), 화학적 특성 (고체, 액체, 기체 등), 생물학적 특성 (DNA, 단백질) 등 다양한 분야에서 필요한 정보를 추출하기 위해 활용될 수 있으며 현재 100여 종류의 정보가 USN에서 감지될 수 있는 것으로 확인되고 있다¹⁸⁾. 이와같이 다양한 분야에서 USN이 활용될 수 있기 때문에 활용가능한 모든 분야를 포괄하는 중계망도를 제작하는 것은 불가능하다. 하지만 동일한 중계노드에서 다양한 활용분야의 정보를 수신하는 것이 일반적이기 때문에¹⁹⁾ 본 연구는 우선 중계노드에 대한 경로망도의 제작 가능성을 확인하는데 주안점을 두고 수행되었다.

USN의 RF 전파대역은 국내에서 대부분 이용되고 있고 세계 표준(ISM: Industrial, Scientific, Medical)으로 통용되는 2.4GHz로 선정하였다. 이는 기존 RF 통신망과는 달리 소출력이며 국지적으로 센싱화된 데이터 통신을 목적으로 한다는 점에서 큰 차이가 있다. 이러한 USN 만의 특성은 전파예측모델을 적용하는 측면에서도 차이를 두어야 한다. 즉 2.4GHz RF 대역은 가시적인 환경에 활용되므로 자유공간 모델²⁰⁾을 가시권에서의 적용모델로 활용하고, 비 가시지역에서의 예측에는 2.4GHz 대역에서 성능이 우수한 경험적 모델인 Cost-231 모델을 활용하였다²¹⁾.

4. USN 중계망도 제작

USN 중계노드의 RF 특성을 반영하여 무선데이터 통신범위를 산출하며 이에 의거하여 이격거리에 의거한 기본적인 USN 배치망을 가정한다. 단순히 거리에 의거 배치된 가상의 노드를 주변의 건물, 도로 등 입지 특성을 고려하여 재배치한다. 설계된 USN 망에 대하여 RF 전파이론을 접목하여 전계강도분포도를 제작하고 그에 따라 중계노드의 경로를 추적한다.

4.1 중계노드 및 센서노드의 RF 출력에 따른 통신반경

중계노드의 통신반경은 RF 출력의 세기에 따라 크기가 정하여진다. USN을 위한 RF 최대 출력은 10mW로 한정되어 있으므로 본 연구에서 중계노드의 출력은 10dBm, 센서노드는 0dBm을 기준으로 하였다. 또한 주파수는 각 2.4GHz이고 안테나의 이득(antenna gain)은 정보통신부 기능규격에 명시된 6dBi이하를 충족하기 위해 4dBi로 제한하였다. 무선전파는 지형의 다양한 형태와 복잡한 환경에 의해 많은 간섭을 받게 되므로 특정장소의 이론적 수신전계강도와 실측 수신전계강도 사이에는 상당한 차이가 있기 때문에, 이 오차를 최소로 하기 위해서는 현장실측결과를 근간으로 한 실험적 전파예측 모델을 만들어 무선통신 시스템에 활용해야 할 필요가 있다. 본 연구에서 중계망을 설계하기 위한 기본적인 통신반경의 계산은 자유공간모델에 의해 산출되었으며, 권장되는 최소 수신감도(-85dBm)를 충족하고자 한 결과 기본중계망에 있어서의 중계기간 통신반경은 400m이며, 중계기의 수신 반경은 200m가 타당한 것으로 나타났다(<표 1>).

<표 1> 자유공간모델을 적용한 통신반경 산정

구분	출력 (mW)	주파수 (Ghz)	통신반경 (m)	자유공간 손실(dBm)	전파수신 감도(dBm)
중계노드	10mW	2.4	400	92.08	-82.08
센서노드	1mW	2.4	200	86.06	-86.06

4.2 비가시 지역의 안테나 유효높이와 지형상수

Cost-231 전파예측모델 분석 시 적용될 중계노드의 안테나 유효높이는 통상 건물 등 지형지물의 고도 위에서의 안테나 높이이며, 센서노드의 안테나 유효높이는 대상체의 높이에 안테나 높이를 더한 높이로써 통상 1m-3m 사이가 적용되므로 본 연구에서는 해발고에 관계없이 2.5m로 하였다(표 2). 그리고 전파예측을 위한 지형요소인 건물 평균 높이, 건물 중심 사이거리, 도로의 평균폭 등에 대

하여는 입지에정지에 대한 분석이 완료된 후 각 중계노드의 셀에 대해 계산하여 적용하였다. 연구지역에서 비가시지역의 예측분석이 적용되는 빌딩평균높이는 8.5m, 빌딩중심거리는 80m, 도로의 평균폭은 15m이며, 송신용 안테나의 높이는 지형고도에 5m를 더한 수치, 수신용 안테나의 높이는 지형고도에 2.5m를 더한 수치로 하였다.

<표 2> RF 출력 및 지형상수등 분석 기본사항

구분	주파수(F)	출력(Pt)	안테나 유효높이	안테나 특성
중계노드	2.4GHz	10mW	지형고도+5m	무지향성(4 dB)
센서노드	2.4GHz	1mW	2.5m	무지향성(2 dB)

주) : F - 주파수(Frequency), Pt - 송신출력 (Power of Transmission)

4.3 USN 중계노드 배치

효율적인 USN 중계망을 구성하기 위해서는 기본적인 중계망을 우선 설계할 필요가 있다. 즉 기본 중계망을 근본자료로 하여 지형조건, 입지조건 등을 이용하여 전파 통신 가능범위를 탐색하고, 전파 음영지역과 간섭지역 등을 최소화하였다. USN 중계노드의 최초 위치기준은 경북대학교 교내의 주 출입구에 설치되는 RF Tag 리더기의 위치로 지정하였다. 중계노드의 위치선정의 정확성을 높이고 동시에 통신 음영지역의 최소화할 수 있도록 RF 이론의 셀(Cell)기법을 도입하였다. 통신반경의 값으로 무선통신망 설계에서 가장 이상적이라 할 수 있는 반경 200m의 정육각형 셀을 배치하고 그 중심점을 중계노드의 설치위치로 하였다. 이는 중계노드 간 통신거리(400m), 센서노드와 중계노드의 통신거리(200m)가 반영된 결과이기도 하다 (<표 1>).

연구지역내의 셀은 14개로서 기본 중계노드의 설치장소가 14곳이며, 중계노드의 중심위치가 연구권역을 벗어난 것이 7개소로서 중계망을 조정하였을 때 최초 위치기준의 중계노드를 제외하고는 많은 변화가 있을 것으로 예상되었다. 또한 중계노드가 설치되는 인공구조물은 교내에서 전력의 안정적

인 공급과 유지관리의 효율을 기하기 위해 가로등으로 지정하였다. 기본적인 USN 중계망을 이용하여 중계노드의 입지특성에 맞도록 입지조건을 적용하여 정량적으로 분석함으로써 용도에 맞는 최적의 무선통신망을 설계할 수 있다. 그러나 USN 망 설계에 필요한 지형분류나 중계노드의 입지 선정에 대한 선행연구가 확인되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 가시성, 중심위치, 전력공급안정성, 인공구조물, 도로망 등을 반영한 중계노드 입지분석을 실시하였으며 셀별로 2내지 3곳의 후보지가 추적되었다 (<그림 2>). 중계노드 입지를 확정하는 단계에서 AHP (Analytic

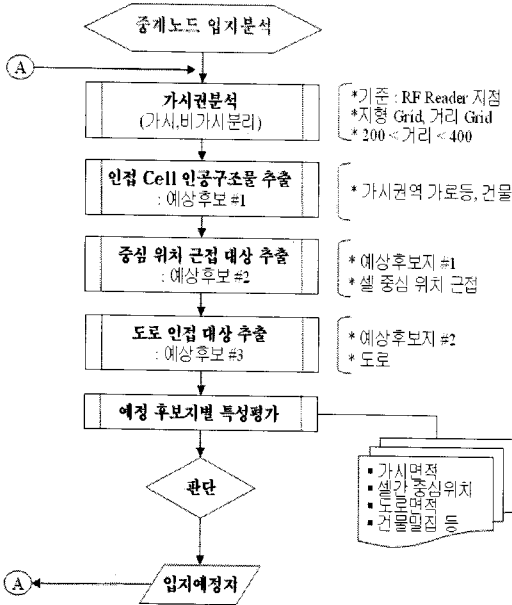
Hierarchy Process)²²⁾ 기법을 활용하여 후보지에 개입되는 공간변수들 간의 가중치를 설정하였다 (표 3). 전문가면담과 선호도 평가를 통해 USN 중계노드의 입지특성별 상대적 중요도에 대하여 9점 척도로 쌍대비교를 수행하였다. 가중치를 반영하여 선정된 최종 입지는 (<그림 3>) 12개의 중계노드가 배치되어도 연구지역 전역에 통신서비스를 할 수 있다는 결과를 보여준다.

<표 4> USN 중계노드의 입지특성별 가중치

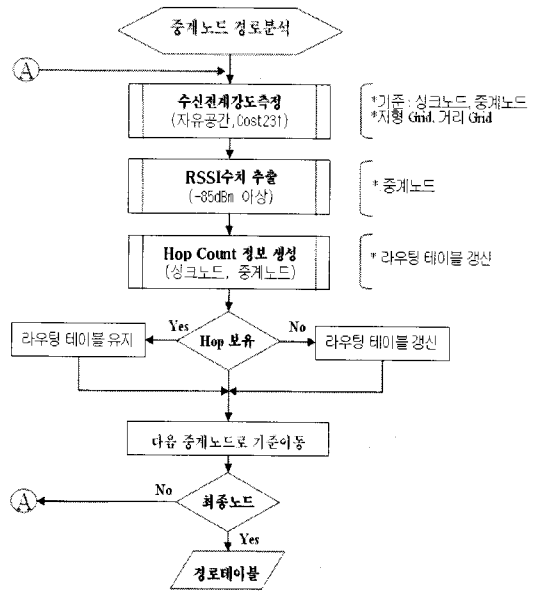
공간변수	구체적 기준	가중치
가시권	인근 중계노드간 가시선 확보 - 최소 1개 이상의 중계노드	0.525
중심위치	통신반경내 중계노드간 일정거리 유지 - 반경내 중심 위치에 가장 근접	0.194
도로면적	인근 중계노드간 가시선 확보 - 3m 도로에 인접 정도	0.129
Cell 중첩성	간섭 및 음영 최소화	0.077
건물밀집	인근 중계노드간 가시선 확보	0.075
열의 합		1

4.4 중계구간별 USN 전계강도 시뮬레이션

RF 신호의 세기를 시뮬레이션하는 방법들이 다양하지만 다양한 선행연구에서 기지국이나 중계기의 위치에서 가시권과 비가시권으로 구분하여 전파 예측모델을 달리 적용하고 있다 [18-19]. 본 연



<그림 2> 중계노드 입지분석 절차



<그림 3> 중계노드 경로분석 절차

구는 가시공간에 대하여는 자유공간 전파경로손실 공식을 적용하고, 건물 등의 지형지물로 인한 비 가시공간상에는 도심에서의 전파 감쇄특성을 잘 예측하는 Cost-231경로손실공식으로 각기 USN의 중계노드 통신권역을 분석하였다 (<그림 3>).

USN의 라우팅 알고리즘에 따라 망구성내에서 불필요한 패킷제거, 신뢰성 확보, 신속한 데이터 전송 등 망의 효율성이 결정된다. 본 연구는 중계노드 간 최적경로를 경로테이블로 제작하여 USN 경로망도를 제작하는데 활용하였다. 즉 (<그림 3>)의 절차대로 GIS 공간연산을 통해 연구지역의 수신전계강도를 산출하고 인접노드간 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 최소값이 -85dBm 이상의 구간을 추출하였다. 무선 통신이 상당히 양호한 -85dBm 이상의 노드는 다음노드로 채택하며 Hop Count를 단계별로 증가시켰다(<표 4>).

5. 광역 중계망 평가 및 예비경로 지정

5.1 중계권역별 비교

전계강도분포 (RSSI) 추출기법으로 제작된 라우팅 경로테이블이 표5에 제시되어 있으며 이 경로테이블에 의거하여 경로도가 작성되었다 (<그림 4a>). USN 전파의 경로손실은 건물들이 밀집한 곳에서 그 수치가 높았으며, 도로의 폭이 넓은 지역이나 개방지에서는 상대적으로 손실이 적었다. 전계강도는 -124dBm ~ -76.8dBm까지 분포하며, 중계 셀간의 거리가 넓거나 큰 건물이 가로막고 있는 곳에는 최소수신감도(-94dBm) 이하의 전파영역이 존재하였다. 전계강도의 분포는 전반적으로 전파의 최소 수신감도(-94dBm)이내이며 특히 평균치를 보면 전송품질이 양호한 -85dBm이하였다. 또한 각 중계권역의 최소값이 최소 수신감도 범위내이므로 USN 중계권역으로 충분히 이용될 수 있을 것으로 평가된다. 한편 USN에서 RT-1 권역이 가장 우수한 것으로 평가되며 상대적으로 RT-2 권역이 가장 열악한 환경으로 나타났다. 이

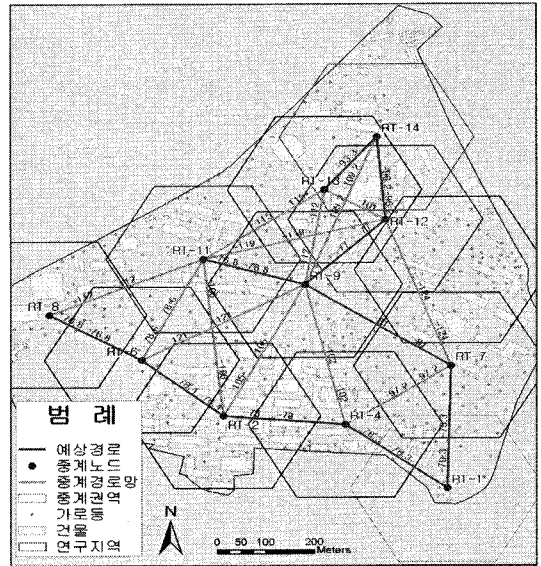
는 중계노드 권역의 건물밀도가 RT-1 주변에서 낮고 RT-2에서 높은 것으로 미뤄볼 때 건물밀도가 높을수록 전파의 품질에 미치는 영향이 나빠지는 것으로 평가된다.

<표 4> 중계노드별 RSSI 및 Hop Count

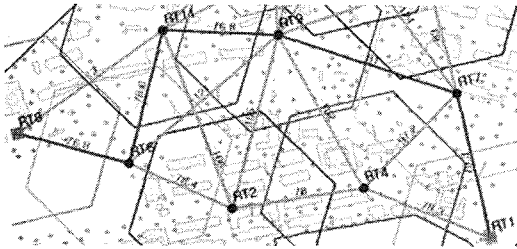
순서	기점	인접노드	RSSI	채택 여부	Hop Count	비고
1	싱크노드	RT-1	-	○	1	
2	RT-1	RT-4	-78.3	○	2	
		RT-7	-79.3	○	2	
3	RT-4	RT-2	-78.02	○	3	
		RT-7	-97.2	×		
		RT-9	-102	×		
4	RT-7	RT-9	-81	○	3	
		RT-12	-124	×		
5	RT-2	RT-6	-78.73	○	4	
		RT-9	-105	×		
		RT-11	-106	×		
6	RT-9	RT-11	-76.8	○	4	
		RT-12	-77.08	○	4	
		RT-13	-112	×		
		RT-14	-122	×		
7	RT-6	RT-8	-76.8	○	5	
		RT-11	-78.6	○	5	
8	RT-8	RT-11	-112	×		중단점
9	RT-11	RT-13	-115	×	5	중단점
10	RT-12	RT-13	-103	×		
		RT-14	-91.2	○	5	
11	RT-14	RT-13	-93.3	○		
12	RT-13				6	중단점

<표 5> 싱크노드의 라우팅 테이블

중계노드	Hop Count	총 경로정보						비고
		1	2	3	4	5	6	
RT-1	1	RT1						
RT-4	2	RT1	RT4					
RT-7	2	RT1	RT7					
RT-2	3	RT1	RT4	RT2				
RT-9	3	RT1	RT7	RT9				
RT-6	4	RT1	RT4	RT2	RT6			
RT-8	5	RT1	RT4	RT2	RT6	RT8		
RT-11	4	RT1	RT7	RT9	RT11			
RT-12	4	RT1	RT7	RT9	RT12			
RT-13	6	RT1	RT7	RT9	RT12	RT14	RT13	
RT-14	5	RT1	RT7	RT9	RT12	RT14		



<그림 4a> 라우팅 예측 경로망도



<그림 4b> RT-2 중계노드 장애의 경우 라우팅 우회 경로망도 (적색선)

5.2 예비경로 지정

총 12개의 노드에 있어서 최대 홉 수는 “6”이며, RT-13이 가장 경로수가 많은 것으로 나타났다. 싱크노드로부터 이격거리가 큰 노드가 경로수가 많

은 것으로 나타났다. 경로수가 많다는 의미는 센서 노드로부터 수신한 센싱 데이터가 싱크노드까지 전송되는 시간이 길어져 실시간 센싱의 효과를 반감시키는 결과를 초래할 수 있다²³⁾. 그래서 싱크노드를 복수개로 두는 경우도 고려해 볼 수 있으며 USN 서비스 지역이 큰 경우에는 여러 개 두는 것도 방안이 될 수 있다. 하지만 경로의 재구성을 통하여 경로수를 조절할 수 있으면 비용의 절감과 아울러 향후 USN 응용서비스를 위한 미들웨어 구성에 있어 이를 단순화 할 수 있는 효과를 얻을 수 있다. 이와 같은 응용에서 라우팅 테이블 (표 4)은 실제 USN 구성시에 중계노드와 싱크노드의 경로설정과일로 활용될 수 있다.

중계노드가 감지한 데이터를 수집하고 다음

<표 6> 중계경로 추적에서 전통적인 현지조사와 GIS 시물레이션의 차이점

	GIS 기반의 중계경로	현지조사 기반의 중계경로
정보의 광역성	넓은 지역에서 연속적으로 변화하는 전파의 전달 경로를 단시간에 평가 가능	조사지점 만의 단편적인 정보를 제공
조사지점의 객관성	예측모델에 의거 대상지역 전체에 대해 경로별로 전계강도가 산출되므로 조사자의 주관성이 개입될 여지가 아주 적음	조사자의 위치가 수시로 변화하므로 샘플링 기법에 따라 전계강도 측정치의 객관성에 많은 한계를 가지고 있음
조사지점의 접근성	다양한 공간 변수를 활용하여 구축된 시물레이션을 통해 조사지점에 접근하게 되므로 장애가 없음	조사지역 전체차원에서 샘플링 조사를 수행하여야 하므로 접근성에 한계가 있다. 특히 노드가 도로의 주변에 위치할 경우 현장조사를 수행하는 것은 차량통행 등 다양한 장애요인 때문에 조사에 어려움이 있다.
위치정확도	개별 경로망별로 전계강도 시물레이션 결과를 수직조망의 관점(vertical vantage point)에서 지도화하므로 실제세계의 위치가 정확하게 나타남	조사자가 다양한 수평조망의 관점에서 전계강도를 조사하므로 조사지점별로 평가결과가 변화되므로 평가결과를 수직조망의 관점에서 실제세계의 위치에 일치시키는데 상당한 한계를 가지고 있음
해석	비전문가도 지도를 보고 네트워크의 이상 유무를 쉽게 판독 가능	표나 그림으로 제시된 결과는 주변의 지형지물이 반영되어 있지 않아 비전문가가 가시성, 건물밀도, 도로 밀도 등 다양한 변수를 동시에 고려하여 평가결과를 해석하는데 상당한 한계가 있음
제작경비	전파 강도 예측모델과 다양한 공간 변수를 통합하여 시물레이션을 수행하고 그 결과를 지도화하게 되므로 제작시간과 경비가 저렴	현지조사를 통해 전파 경로망도를 제작하는 과정은 조사지점 선정, 현지조사, 경로망별 전계강도 해석 등 GIS 기반의 지도보다 훨씬 많은 단계를 거치기 때문에 상당한 시간과 경비가 소요됨
공간변수와 연계된 중계망 구성	실세계의 공간 객체를 대상 지역의 특성과 응용 분야별로 사용자의 관심에 따라 결합하여 필요한 데이터를 정량적으로 확보할 수 있다.	지도 중첩법에 의거하여 결과가 산출되지 않기 때문에 현지 조사결과를 다양한 주제도와 결합하여 해석하는 것은 한계가 있음
다시기 지도의 중첩에 의한 전계강도 변화 감시	다시기의 경로망 지도를 중첩하여 변화된 전계강도의 양상을 보다 현실성 있게 추적할 수 있음	전계강도를 수평시각의 관점에서 모형화하여 표현하므로 지도 중첩의 개념이 적용될 수 없으며 다양한 공간변수로 인해 변화된 전계강도에 대한 정보를 정량적으로 평가하는 데 한계가 있음

(Next) 중계노드로 전송할 때 Next 중계노드가 장애가 있거나 부하가 높은 경우에는 우회경로로서 다음 중계노드를 선정하고 전송하여야 한다. 한 예로 RT-8 권역에서 센싱된 데이터가 싱크노드(게이트웨이)로 전송되는 단계에서 RT-2 중계노드의 장애가 발생한 경우 RT 8-6-14-9-7-1과 같이 중계망이 구성된다는 것을 확인할 수 있다 (<그림 4b>).

중단지점의 중계노드권역에서 발생한 장애에 대하여는 전송될 수 없기 때문에 반드시 이중화할 필요가 있다. USN 중계노드가 전원단절, 장비고장 등으로 인하여 작동이 정지되는 경우를 대비할 필요가 있다. 한 예로 중단지점에 위치한 RT-6의 장애가 발생할 때는 전송이 불가하므로 RT-8과 RT-11 사이에 중계노드를 증설할 필요성도 탐색할 수 있다.

본 연구의 결과는 중계노드의 과부하가 있는 경우에 시뮬레이션을 통해 전송로를 평가할 수 있게 한다. 이는 센싱 데이터의 흐름을 쉽게 파악할 수 있으며, 또한 GIS의 네트워크 분석을 적용하면 중계노드의 추가나 삭제 등 USN 망의 변경사항이 발생할 때 시뮬레이션이 가능하여 망 유지관리에 효율을 기할 수 있다.

6. 토론 및 고찰

GIS기반의 USN 중계 경로망도에서는 전통적인 지도학에서 주제도의 개념이 그대로 적용될 수 있으며 종이지도로 출력될 경우 축척의 개념도 적용될 수 있다. <표 6>은 GIS기반의 USN 중계 경로망도와 중계 경로망 현지조사를 통해 산출되는 자료의 연속성, 정보의 광역성, 조사지역에 대한 접근성, 다양한 방향에서 평가, GIS 환경에서 중첩을 통한 전계강도 변화 분석 등 차이를 비교한 것이다.

GIS기반의 USN 중계 경로망도 조사지점별로 전계강도 시뮬레이션과정에서 활용된 다양한 주제도를 통해 해당지역의 현황을 그대로 보여줄 수 있는 장점을 가지고 있다(<그림 4a-b>). 전계강도 현지 조사는 표나 그림의 형태로 구성되어 있지만, 중계

경로망도는 경로별 전계강도를 수직시각의 관점에서 연속적으로 평가한 결과를 묘사하고 있다. 중계 경로망도는 전통적인 현지조사를 통해 수집된 데이터와 달리 거시적이며, 조사자에 따라 조사결과가 달라지는 상황이 발생하지 않는다.

X, Y 좌표를 근간으로 하여 방향성을 가지고 구축된 중계 경로망도에 비하여 방향성 없이 단지 수평조망의 관점에서 조사지점의 전계강도만을 가지고 중계 경로망의 형상을 논의하는 것은 근본적인 한계가 있다. 여기서 중계 경로망도가 조사대상에 대한 접근성이 뛰어나다는 것은 현지조사에 의거 중계 경로망을 평가할 경우 현지조사를 하고 조사 결과를 해석하고 평가하는데 오랜 시간이 걸리지만 중계 경로망도의 경우 데이터가 필요한 곳은 그때마다 GIS 시뮬레이션을 통해 노드를 배치하고 대상지역의 정량적인 중계 경로망도를 제작할 수 있기 때문이다.

GIS기반의 USN 중계 경로망도의 장점을 최대한 활용할 수 있는 분야가 다시기 중계 경로망도를 중첩하여 기후, 교통 등 다양한 공간변수 변화에 따른 전계강도 변화를 평가하는 응용이다. 중계 경로망도의 중첩 활용을 위하여 가장 중요시되는 항목은 역시 위치 정확도의 판별이다. 수치지도는 지도의 위치 정확도에 대한 국가 기준을 따라 제작된 것이기 때문에 측량 성과로 인정된 자료이다. 이에 의거하여 제작된 중계 경로망도에 대해서는 위치의 정확도가 더 이상 논란의 소지가 없을 것이다. 하지만 수평시각의 현지조사 결과를 가지고 중계경로망의 광역적인 변화 분석을 시도하는 것은 근본적으로 불가능하다. 중계경로별 전계강도에 대한 전통적인 현지조사는 사용자의 입장에서 다양한 해석을 필요로 하지만 평가결과를 정량적으로 보여주는 중계 경로망도를 사용하면 일반사용자들도 중계 경로망 평가결과를 직관적으로 이해할 수 있다.

현지조사에서는 분석자의 주관에 반영된 분석결과에 의거 USN 중계 경로망을 예측하더라도 신뢰도를 검증할 수 있는 방법이 마땅하지 않았다. 그러나 명확하고 체계적인 GIS 분석과정 때문에 그러한 오류를 예방할 수 있었으며 분석결과가 객관적

으로 제시될 수 있었다. 또한 GIS의 가장 큰 장점 중의 하나는 보여주는 기능 즉 출력기능이었다. 데이터베이스가 구축되어 있으므로 USN 중계 경로망에 장애가 발생시 관련자료를 곧바로 확인하고 점검할 수 있어 USN 중계 경로망 예측 및 장애 복구 관련업무 수행시 투명성과 객관성이 보장될 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 단기간에 수행된 단 1개의 사례지역에 걸친 국한된 결과이며 연구지역을 경북대학교 캠퍼스에 국한하였기 때문에 조사지역의 한계가 명확하여 비교적 이상적인 조건하에서 수행된 결과이다. 예산상의 문제로 인하여 경북대 캠퍼스 전체에 USN을 설치한 것이 아니라 최종 시스템의 모습에는 좀 못 미치는 가상 시스템을 구축할 수밖에 없었다. 즉 다중사용자들이 USN에 접근하여 정보를 이용할 수 있는 시스템으로 구축된 것이 아니라, 이러한 환경으로의 확장성을 고려한 독립운영 시스템에 의거하여 중계 경로망도가 제작되었다.

USN 중계망의 전파강도에 영향을 미치는 공간변수가 상당히 넓은 범위에서 파악될 수 있는 데도 입수가능한 범위내에서 DB를 구축했다. 시뮬레이션 결과가 실측치에 근접하기 위해서는 정밀한 지형자료의 이용과 다양한 보정적 환경요소, 즉 기후와 단지내 조경수 및 시설물 등의 영향을 보정치로 활용할 필요가 있다. 완전한 비가시권을 해석하기 위한 방법론은 개발되기가 어렵지만 최대한으로 오차의 한계를 줄일 수 있도록 기상상태, 가로수 및 조경수와 같은 환경적요소, 유동인구나 차량의 흐름 등 전파환경요소와 그 보정치가 정의되어야 한다. 향후 다양한 분야에서 USN의 시범구축이 완료되고 그에 따라 발생하는 데이터를 활용하면 전파환경 분류와 아울러 맞춤형 USN 중계망 예측모델을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

7. 결론

본 연구는 중계 노드 주변의 공간 변수에 의거하여 USN 중계 경로망 지도 제작 필요성을 제안하는 연구이다. 이는 전파이론을 이용하여 중계노드 권

역의 RSSI 수치를 예측하고 노드간 통신품질을 확보하여 신뢰도를 지닌 라우팅 테이블을 제작하였다. 넓은 지역에 대한 중계경로의 변화 추세를 파악하는 데 있어서 공간 분석 기법은 기존의 현장조사와 비교하여 경제적이며 광범위한 지역에서 나타나는 시·공간적 변화추세를 분석 평가할 수 있는 장점을 확실하게 보여주었다. 연구지역의 전계강도는 건물 이 밀집하거나 중계셀간의 이격거리가 큰 지역에는 최소수신감도(-94dBm)이하의 전파음영지역이 존재하였고, 도로의 폭이 넓은 지역이나 개방지에서는 상대적으로 전파의 품질이 양호(-85dBm이상)하였다. 다양한 주제도를 활용하여 중계망을 추적하기 위한 공간분석은 가시성, 건물밀도, 도로밀도, 건물높이, 도로의 폭 등에 따라 변화하는 전계강도의 유형을 파악할 수 있었는데, 이는 전통적인 현지 조사 방식으로는 취득할 수 없는 정보들이었다. 중계경로와 전계강도에 대한 가시적이고 정량적인 정보를 획득할 수 있어 이 연구의 결과는 각종 USN 구축과정에서 야기되는 전파장애를 진단하는 객관적인 근거자료로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Lye, P. G., and McEachen, J. C., "A Comparison of Optimized Link State Routing with Traditional Routing Protocols in Marine Wireless Ad-hoc and Sensor Networks," Hawaii International Conference on System Science, Vol.40 No.10, 2007, pp. 1530-1605.
2. Samar, P., Pearlman, M. R., and Haas, Z. J., "Independent Zone Routing: An Adaptive Hybrid Routing Framework for Ad Hoc Wireless Networks," IEEE/ACM Transactions on networking, Vol.12 No.4, 2004, pp. 595-608.
3. Zhenqiang, Y., Srikanth, V., Krishnamurthy B., and Satish, K., "A Routing Framework for Providing Robustness to

- Node Failures in Mobile ad hoc Networks,” *Ad Hoc Networks* 2, 2004, pp. 87-107.
4. Krishnamachari, S., and Govindan, B., “The Impact of Spatial Correlation on Routing with Compression in Wireless Sensor Networks Pattenm,” *International Symposium on Information Processing in Sensor Networks*, Vol.3 2004, pp. 28-35.
 5. Zhou, B., De Rango, F., Gerla, M., Marano, S., “GeoLANMAR: Geo Assisted Landmark Routing for Scalable, Group Motion Wireless Ad Hoc Networks,” *IEEE Vehicular Technology Conference*, Vol.61 No.4, 2005, pp. 2420-2424.
 6. Yu Y., Govindan R., and Estrin D., *Geographical And Energy Aware Routing: a Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks*, UCLA Computer Science Department Technical Report, UCLA-CSD TR-01-0023, 2001.
 7. Bruck, J., Gao, J., and Jiang, A. “Map: Medial Axis Based Geometric Routing in Sensor Networks,” *Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing AND Networking* Vol.11, 2005, pp. 88-102.
 8. Kinoshita, K., Masuda, T., Kawano, K., Tanioka, H., Takine, T., and Murakami, K. “Network Map Architecture Using Inter-Agent Communication Techniques for Multiple QoS Routing,” *IEICE transactions on communications*, Vol.85 No.7, 2002, pp. 1333-1341.
 9. ITU-R Assembly, *Digital Topographic Databases for Propagation Studies* (Question ITU-R 202/3), *ITU-R P.1058-2*, Geneva, 1-7, 1999.
 10. ITU-R Assembly, *Propagation Effects Relating to Terrestrial Land Mobile Service in the VHF and UHF Bands*(Question ITU-R 203/3), *ITU-R P.1406*, Geneva, 1-10, 1999.
 11. Hallett, S. H., Jones, R. J. A., and Keay, C. A. “Environmental information systems developments for planning sustainable land use,” *International Journal of Geographical Information Science*, Vol.10 No.1, 1996, pp. 47-64.
 12. Jones, C. B., Kidner, D. B., Luo, L. Q., Bundy, G. L., and Ware, J. M., “Database Design for a Multiscale Spatial Information System,” *International Journal of Geographical Information Science*, Vol.10 No.8, 1996, pp. 901-920.
 13. Thumerer, T., Jones, A. P., and Brown, D. “A GIS based Coastal Management System for Climate Change associated Flood Risk Assessment on the East Coast of England,” *International Journal of Geographical Information Science*, Vol.14 No.3, 2000, pp. 265-281.
 14. 김충남, 차세대 이동통신 실무기술, 진한도서, 2003.
 15. ITU-R Assembly, *VHF and UHF Propagation Curves for the Frequency Range from 30 MHz to 1000 MHz* (Question ITU-R 203/3), *ITU-R P.370-7*, Geneva, 1-33 1995.
 16. ITU-R Assembly, *Prediction Procedure for the Evaluation of Microwave Interference between Stations on the Surface of the Earth at Frequencies above about 0.7GHz*(Question ITU-R 208/3), *ITU-R P.452-10*, Geneva, 1-36, 2001.

17. Chipcon Inc, CC2420 IEEE 802.15.4/ 2.4GHz RF Transceiver Datasheet, Chipcon Inc CC2420 Product Description, 2004.
18. Steve H. L., Arie, C. and Vincent T., "Distributed Geospatial Infrastructure for Sensor Web." Computers and Geosciences, Vol.31 No.2, 2005, pp. 221-231.
19. Camp, L. J., Tsang, R. P. "Universal Service in a Ubiquitous Digital Network," Ethics and Information Technology, Vol.2 No.4, 2000, pp. 211-221.
20. Ikegami, F., "Theoretical Prediction of Propagation for Future Mobile Communications Reviewing and Looking Forward," IEEE Transactions on Communications E76-B(2), 1993, pp. 51-57.
21. Juan-L.L., Ramos, L. and Cardona, N., "Application of Some Theoretical Models for Coverage Prediction in Macrocell Urban Environments," IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol.48, 1999, pp. 1463-1468.
22. Saaty, T. L., The Analytic Hierarchy Process, NY, McGraw Hill. 1980.
23. Fu Z., Zerfos P., Luo H., Lu S., Zhang L and Gerla M., 2003. The Impact of Multihop Wireless Channel on TCP Throughput and Loss, IEEE INFOCOM 2003.

김진택

1997년 한국방송대학교 컴퓨터학과(이학사)
 2003년 경북대학교 대학원 지역정보학과(이학석사)
 2007년 경북대학교 대학원 지역정보학과(이학박사)
 1997년~대구소방본부 정보통신팀
 관심분야 : GIS, USN, 유비쿼터스 컴퓨팅, 재난정보 시스템

엄정섭

1985년 전남대학교 문학사
 1994년 한국방송통신대학교 법학사
 1992년 아시아 과학기술원 (Asian Institute of Technology: AIT), 이학석사
 1998년 영국 애버딘 대학교, 이학박사
 1987년~1999년 환경부
 1999년~현재 경북대학교
 관심분야 : 유비쿼터스 컴퓨팅, GIS, 원격탐사