GIS기반의 USN 중계경로망도 제작기법 연구
Design the Map of USN Routing based on GIS

김진택*, 엄정섭
Jin-Taek Kim*, Jung-Sup Um
경북대학교 지역정보학과 박사과정*, 지리학과 교수
{kjt119@daegumail.net*, jsaeom@knu.ac.kr}

요 약

USN은 유비쿼터스 환경의 기반기술로서 저전력, 저비용 등 소규모의 특성을 갖고, 기지국과 같은 기반시설이 아닌 Ad_hoc 기법을 통해 통신한다. 일반적으로 센서노드 네트워크 구성을 위해 인력을 동원한 현장실측이나 또는 무작위 설치로 인하여 시간과 비용의 낭비와 환경적인 피해가 발생한다. 또한 중계망의 노드장애 등 관리를 위한 모니터링에 있어 GIS의 분석과 가시화 기능을 적극 활용할 필요가 있다. 따라서 본 연구는 GIS를 이용하여 RF 전파의 경로손실을 측정하고 중계노드의 RSSI를 산출하였으며, 중계노드의 구성과 중계경로망도 제작기법을 제시하였다. 연구지역은 경북대학교권역이며 RF 대역은 국제표준인 2.4GHz를 기준으로 하였다.

1. 서 론

유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network: USN)란 "필요한 모든 사물 또는 장소에 전자 Tag(RFID)를 부착하고 이를 통하여 사물의 인식정보는 물론 주변의 환경정보까지 탐지(sensing)하여 이를 실시간으로 네트워크에 연결하여 정보를 관리하는 것"을 의미한다[1]. USN은 정보통신부 IT839 정책의 3대 인프라 가운데 하나로서 그 중요성이 날로 증가되고 있고 U-City의 기반시설로써 응용가능성이 큰 것으로 연구되고 있다. 특히 재래시장등과 같이 재난에 취약한 지역에서의 재난감시나 작전통제등에 효용성이 큰 것으로 연구되고 있으며, 그 기반이 되는 중소규모 USN(Ubiquitous Sensor Network)이 U-City의 도시 안전서비스 분야에서 시범형태로의 구축이 추진되고 있다.

그러나 도시 기반 서비스로서의 센서 네트워크를 구축에는 무선전파통신의 특성으로 인하여 현장실측이나 망 구성의 어려움이 있으며, 무분별적인 구축은 소요비용상의 문제와 효율성의 저하를 일으킬 가능성이 높다. 또한 보이지 않는 전파로 인하여 매체간 상호전파간섭, 자연환경 훼손등의 악영향을 끼칠 여지가 있다. 한편 사용자나 관리자가 적극 개입 및 관리를 필요로 하는 계획된 USN에 있어서 중계망의 노드장애 등 망의 효용성과 안정성을 높이기 위한 지속적인 모니터링이 필요하다.

따라서 본 연구는 RF전파이론에 근거하여 연구지역내 최소의 중계노드를 배치한 상태의 전계강도를 시뮬레이션하고 그에 따른 중계경로망도를 제작하는 기법을 제시하고자 한다. 즉 USN 권역의 노드 장애감시, 우회경로 확보 등 효과적인 USN 모니터링 지원이 본 연구의 목적이다.

연구지역은 경북대학교이며 연구 수행에는 지형도 등 각종 수치지도, ArgGIS9.1이 이용된다. 2장은 USN의 전파환경 특성에 대해 기술하고, 3장은 USN 전계강도를 기준으로하여 중계망도를 제작하며 마지막 4장은 결론의 순으로 제시하였다.

2. USN의 전파환경 특성

2.1 이동통신 무선망 : 셀(Cell)

통상 "Cell"이란 기지국에서 전파를 발사하여 통화가 가능한 영역을 말하며, 일반적으로 서비스를 제공하는 기지국에 대한 모든 위치에서 측정한 결과를 도면으로 표시하여 망 시설의 신설, 추가 등을 위하여 활용된다. 기지국을 중심으로 셀의 반경이 같다고 가정하였을 때 셀은 정삼각형, 정사각형, 정육각형, 다격형 등으로 표현할 수 있으며, 기지국과 기지국사이에 서로 겹치거나 또는 겹치는 공간 없이 평면을 커버할 수 있다. 이동통신 시스템에서는 한 개 이상의 Cell Site를 가져야 되고, 그 셀들간이 셀을 주고 받을 수 있는 능력을 가져야만 된다. 셀의 모형 중에서 정육각형이 시스템을 설계하는데 개념적으로 가장 적합하며 인접 기지국간의 채널간섭 및 셀 확장시 주파수 간섭의 최소화 등의 이점이 있어 셀의 표준으로 사용되고 있다[2].

2.2 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[3][4][5], 전파경로손실계산은 예측 및 분석하고자 하는 주파수대역과 전파서비스 반경에 따라 달리 적용된다. 이러한 것으로 Mega 셀, Macro 셀, Micro 셀, Pico 셀로 구분[1]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 전파 전파는 가시적인 직접파와 회절파 및 반사파에 의해 통신이 되고 있고 모든 방향으로 유사한 크기의 경로손실을 가지므로 Coverage area가 대체로 원형이다.

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

·수신전력 : $\mathrm{Pr} = PtG1G2(\frac{c}{4\pi fd})^2$

·G1 - 송신안테나 이득, G2 - 수신안테나 이득, f - 주파수, d - 송수신사이의 거리, c - 광속(3 X 10^8), Pt - 송신측 출력(전력)

예를 들면 송신출력(Pt : 10mWatt)을 수신감도[2]로 표현하면 Pr = 10dBm이다. 그러나 전파의 경로손실을 거치면 수신감도는 급격하게 떨어지며, USN에서의 RF 대역의 최소 수신감도는 -94dBm 이상이나 권장되는 최소 수신감도는 -85dBm이상적이다[6].

2.3 RF 전파 예측모델

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 전파 예측 모델을 만들어 무선통신 시스템에 활용해야 할 필요가 있다. USN은 기존 RF 통신망과는 달리 소출력이며, 국제적인 ISM(Industrial, Scientific, Medical) 대역인 2.4GHz를 사용하며 국지적으로 센싱화된 데이터통신을 목적으로 한다는 데 큰 차이가 있다. 이러한 USN 만의 특성은 전파예측모델을 적용하는 측면에서

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.

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

도 차이를 둬야 할 것이다. 즉 2.4GHz RF 대역은 가시적인 환경이 가장 좋은 환경이므로 자유공간 모델을 가시권에서의 적용모델로 활용하고, 비 가시지역에서의 예측에는 2.4GHz 대역의 성능이 우수할 뿐만 아니라 지형지물의 특성을 수식에 잘 적용된 경험적 모델인 Cost-231 모델을 활용하였다.

3. GIS기반의 USN 중계망도 제작

3.1 USN 망 전계강도도 제작

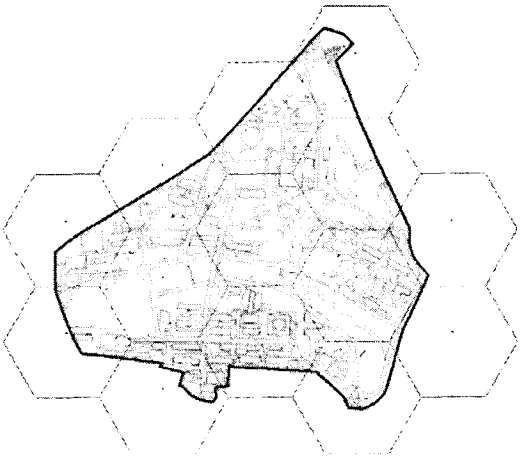
중계노드의 통신반경은 RF 출력의 세기에 따라 크기가 정하여진다. 본 연구의 중계노드 RF단말의 출력은 10mW, 센서노드의 RF단말의 출력은 1mW로 가정하였다. 이때 중계망을 설계하기 위한 기본적인 통신반경의 계산은 자유공간모델에 의해 산출되었으며, 권장되는 최소 수신감도(-85dBm)를 충족하고자 한 결과 기본중계망에 있어서의 중계기간 통신반경은 400m이며, 중계기의 수신 반경은 200m가 타당한 것으로 나타났다. 한편 연구지역에서 비가시지역의 예측분석시 적용되는 빌딩평균높이는 8.5m, 빌딩중심거리는 80m, 도로의 평균폭은 15m이며, 송신용 안테나의 높이는 지형고도에 5m를 더한 수치, 수신용 안테나의 높이는 지형고도에 2.5m를 더한 수치로 하였다.

3.1.1 기본적인 USN 중계망 구성

연구지역내의 효율적인 USN 중계망을 구성하기 위해서는 기본적인 중계망을 우선 설계할 필요가 있다. 즉 기본 중계망을 근본자료로 하여 지형조건, 입지조건 등을 이용하여 전파 통신 가능범위를 탐색하고, 전파음영지역과 간섭지역 등을 최소화 할 수 있는 최적의 망을 설계할 수 있는 것이다.

USN 중계노드의 최초 위치기점(RF Tag Reader 위치)으로 중계노드 간 통신거리(400m), 수송차량노드와 중계노드의 통신거리(200m)를 반경으로 동심원을 이용한 육각형 셀지도를 제작하였다[그림 1].

연구지역내의 셀은 14개로서 기본 중계노드의 설치장소도 14곳이며, 중계노드의 중심위치가 연구권역을 벗어난 것이 7개소로서 중계망을 조정하였을 때 최초 위치기점의 중계노드를 제외하고는 많은 변화가 있을 것으로 예상된다.

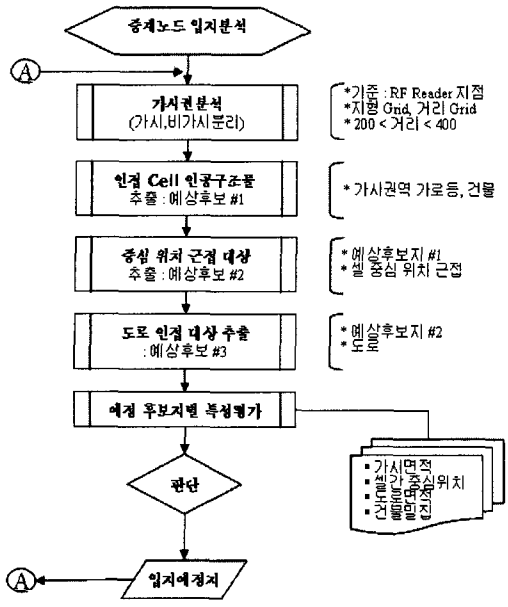


[그림 1] 기본 USN 중계망도

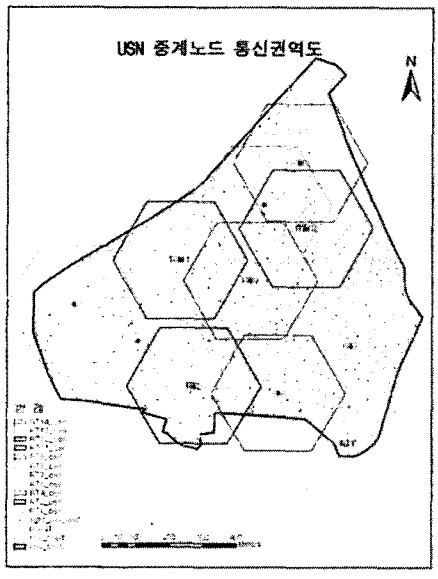
3.1.2 USN 중계노드 배치

기본적인 USN 중계망을 이용하여 중계노드의 입지특성에 맞도록 입지조건를 적용하여 정량적으로 분석함으로써 용도에 맞는 최적의 무선통신망을 설계할 수 있다. 본 연구는 USN 중계노드의 입지선정 특성(가시성, 중심위치, 전력공급안정성, 인공구조물, 도로망 등)을 반영한 중계노드 입지분석을 실시하였으며[그림 2], 2내지 3곳의 후보지를 예상하였다. 그리고 후보지에 대하여 가시성, 중심위치, 도로특성, 셀중첩성, 건물밀집이 미치는 영향을 전문가면담과 선호도 평가를 통하여 가중치[3]를 산출하고, 그 결과를 반영하여 최종 입지를 선정하였다[그림 3]. 이를 살펴보면 중계노드의 수가 12개소만 입지하여도 연구지역 전역에 통신서비스를 할 수 있는 것으로 보여진다.

3) 가시면적 "0.525", 중심위치 "0.194", 도로면적 "0.129", 셀 중첩 "0.077", 건물밀집 "0.075"



[그림 2] 입지분석 절차

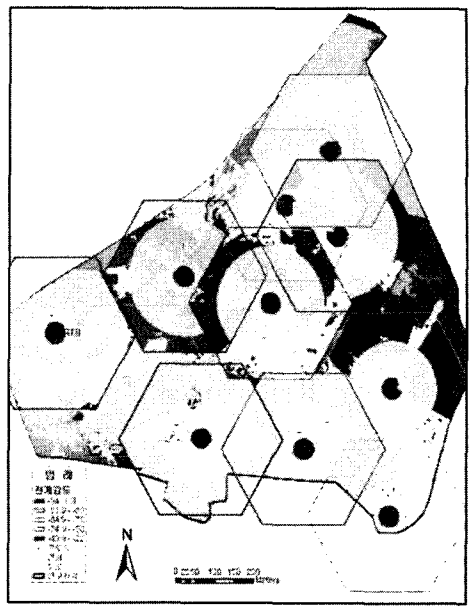


[그림 3] USN 통신권역도

3.1.3 USN 전계강도 시뮬레이션

RF 신호의 세기를 시뮬레이션하는 방법들이 다양하지만 일반적으로 기지국이나 중계기의 위치에서 가시권과 비가시권으로 구분하여 전파예측모델을 달리 적용하는 것이 적절한 것으로 평가된다.

이에 본 연구는 가시공간에 대하여는 자유공간 전파경로손실공식을 적용하고, 건물 등의 지형지물로 인한 비 가시공간 상에는 도심에서의 전파 감쇄특성을 잘 예측하는 Cost-231경로손실공식으로 각기 USN의 중계노드 통신권역을 분석하였다[그림 4].



[그림 4] USN 전파 전계강도도

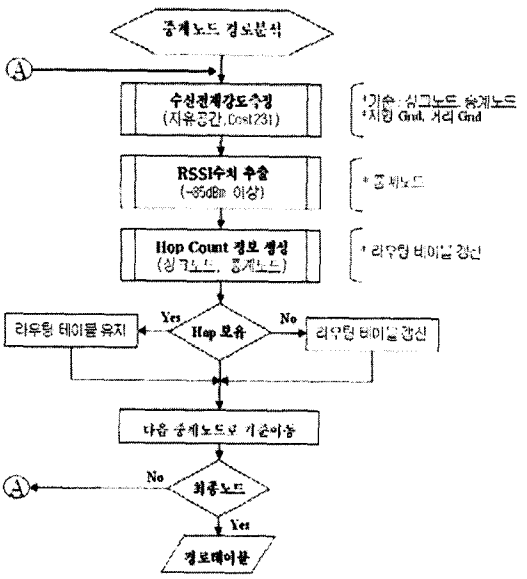
USN 전파의 경로손실은 건물들이 밀집한 곳에서 그 수치가 높았으며, 도로의 폭이 넓은 지역이나 개방지에서는 상대적으로 손실이 적었다. 전계강도는 -105dBm ~ -22dBm까지 분포하며, 중계 셀간의 거리가 넓거나 큰 건물이 가로막고 있는 곳에는 최소수신감도(-94dBm) 이하의 전파음영지역이 존재하였다.

3.2 USN 중계망도 제작

3.2.1 USN 중계노드 라우팅 분석

USN의 라우팅 알고리즘에 따라 망구성 내에서 불필요한 패킷제거, 신뢰성 확보, 신속한 데이터 전송 등 망의 효율성이 결정된다.

본 연구는 중계노드간 최적경로를 경로테이블로 제작하여 USN 경로망도를 제작하는데 활용하였다. 즉 [그림 5]의 절차대로 연구지역의 수신전계강도에서 GIS 공간연산을 통해 -85dBm 이상의 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 수치를 추출하고, 인접 중계노드와 교차여부를 확인하여 범주에 속하면 다음경로(Next-Node)로 등록하고 Hop 수를 증가시킨다. 이 같은 과정을 반복하여 수행한 결과 <표 1>과 같다.



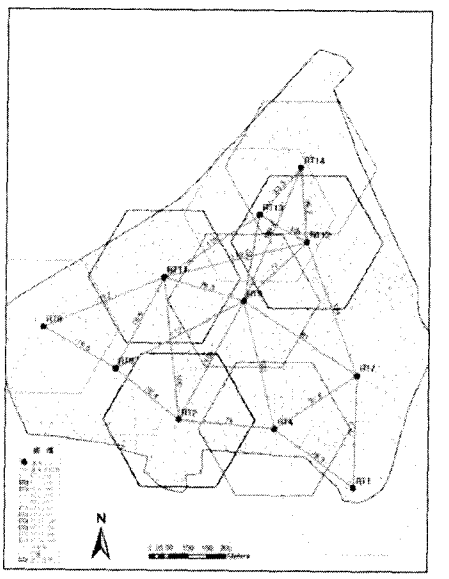
[그림 5] 중계노드 경로분석 절차

<표 1> 중계노드별 RSSI 및 다음노드

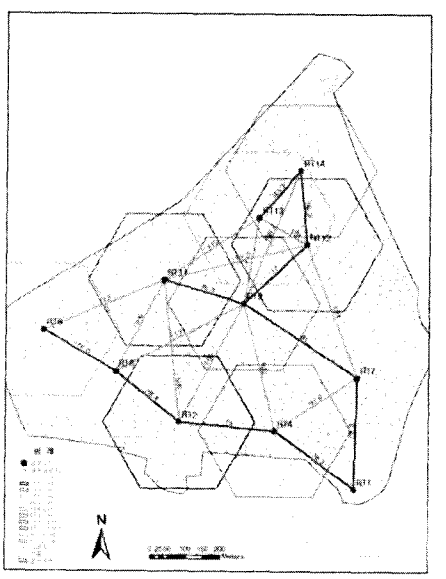
순서	기점	인접노드	RSSI	채택	Hop	비고
1	싱크노드	RT-1	-	○	1	
2	RT-1	RT-4	-78.3	○	2	
		RT-7	-79.3	○	2	
3	RT-4	RT-2	-78.02	○	3	
		RT-7	-97.2	×		
		RT-9	-102	×		
4	RT-7	RT-9	-81	○	3	
		RT-12	-124	×		
5	RT-2	RT-6	-78.73	○	4	
		RT-9	-105	×		
		RT-11	-106	×		
6	RT-9	RT-11	-76.8	○	4	
		RT-12	-77.08	○	4	
		RT-13	-112	×		
	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

3.2.2 USN 중계노드 경로망도

USN 중계노드의 인접노드간 RSSI값을 기반한 라우팅 경로테이블이 제작된 것으로 경로망도를 구성한 것이 [그림 6]이다. 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[그림 7].



[그림 6] 중계노드 경로망도



[그림 7] 라우팅 예측 경로망도

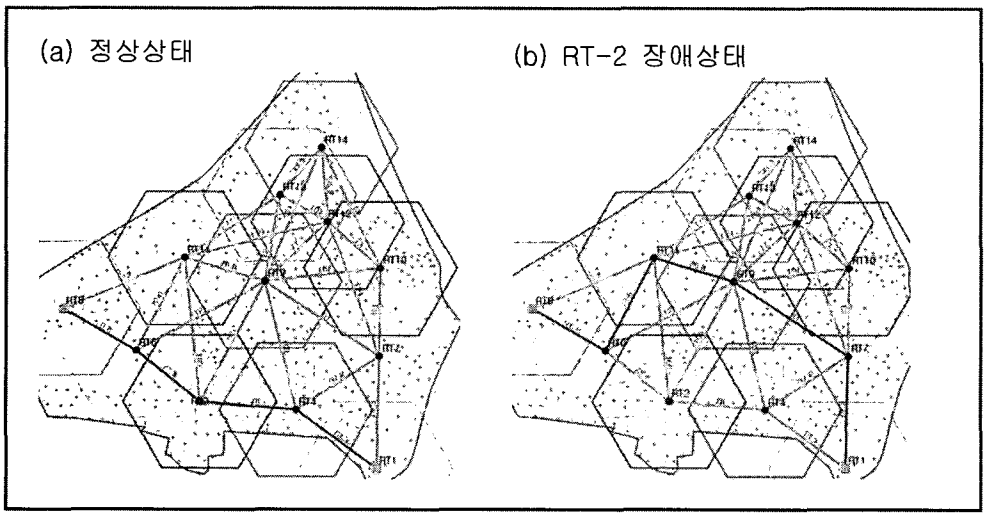
3.2.3 USN 중계망 예비경로 지정

USN 중계노드가 전원단절, 장비고장 등으로 인하여 작동이 정지되는 경우를 대비할 필요가 있다. 본 연구는 이중화와 무정지에 대해서는 별도 제시하는 논지는

없으나 특정 중계노드의 중계장애가 발생한 경우 예비경로를 지정하는 것에 한하였다.

중계노드가 센싱한 데이터를 수집하고 다음(Next) 중계노드로 전송할 때 Next 중계노드가 장애가 있거나 부하가 높은 경우에는 우회경로로서 다음 중계노드를 선정하고 전송하여야 한다. 그러나 종단지점의 중계노드권역에서 발생한 장애에 대하여는 전송될 수 없기 때문에 반드시 이중화할 필요가 있다.

이에 본 연구는 RT-8 권역에서 센싱된 데이터가 싱크노드(게이트웨이)로 전송되는 단계에서 RT-2중계노드가 장애가 발생한 경우 [그림 8]과 같이 활용될 수 있음을 보여주며, 또한 RT-6의 장애가 발생할 때는 전송이 불가하므로 RT-8과 RT-11 사이에 중계노드를 증설할 필요성도 탐색할 수 있다. 그리고 중계노드의 과부하가 있는 경우에도 시뮬레이션을 통해 전송로를 평가할 수 있다.



[그림 8] 예비 또는 우회 라우팅 경로망도

4. 결론

IT-839가 차세대 국가 성장 동력의 중추적인 역할을 담당할 것으로 기대되어 산업 전분야에 걸쳐 이의 활성화를 위해 각종 연구와 응용프로젝트들이 진행되고 있다. USN은 IT839의 3대 기반기술 가운데 하나로서 국내·외적으로 추구하고 있는 유비쿼터스 세상의 핵심 기반시설이다. 본 연구는 USN에 대한 전파경로손실을 예측하고 그에 기반하여 중계경로망도를 제작하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, USN 전파환경의 시뮬레이션을 수행하여 RF 전파영향을 사전 예측하여 망 설계 및 운용에 있어 효과적인 의사결정이 되도록 하였다. 연구지역의 전계강도는 -105dBm ~ -22dBm까지 분포하며, 건물이 밀집하거나 중계셀간의 거리가 넓은 지역에는 최소수신감도(-94dBm)이하의 전파음영지역이 존재하였고, 도로의 폭이 넓은 지역이나 개방지에서는 상대적으로 전파의 품질이 양호(-85dBm이상)하였다.

둘째, USN의 경로설정기법에 있어 라우팅테이블을 이용한 방식으로 최적 경로망도를 제시하였다.

이는 전파이론을 이용하여 중계노드 권역의 RSSI 수치를 예측하고 노드간 통신품질의 확보와 신뢰도 높은 라우팅이 되도록 공간분석으로써 라우팅테이블을 제작하였으며, 실시간 경로를 파악할 수 있도록 가시화와 중계노드의 추가나 장애발생시 경로변경 및 우회경로지정 등 안정성에 있어서 그 효용성을 제시하였다.

참고문헌

[1] 박승창,남상엽,류영달,이기혁,김완석, 2005, 유비쿼터스 센서네트워크 기술, Jinhan M&B

[2] 김충남, 2003, 차세대 이동통신 실무기술, 진한도서

[3] ITU-R Assembly, 1995, 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

[4] ITU-R Assembly, 1999b, 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

[5] ITU-R Assembly, 2001, 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

[6] Chipcon Inc, 2004, CC2420 IEEE 802.15.4/ 2.4GHz RF Transceiver Datasheet, Chipcon Inc CC2420 Product Description