

도시 환경에서의 IoT 센서 네트워크 성능 분석

최병철, 박주덕, 류재홍, 이창원

한국전자통신연구원

bcchoi@etri.re.kr, zdpark@etri.re.kr, jhryu@etri.re.kr, changwonlee@etri.re.kr

Performance analysis of IoT sensor network in urban environments

Choi Byeong-cheol, Park Juderk, Ryu Jae-hong, Lee Changwon

ETRI(Electronics & Telecommunications Research Institute)

요약

본 논문은 도시 환경에서의 수자원 또는 도로 교통 등 다양한 인프라들의 초연결을 위하여 적용한 LoRa기반의 IoT 무선 센서 네트워크의 데이터 수집 성능을 분석하였다. 무선 데이터 전송 성능 향상을 위한 다양한 기술들의 적용에도 전파 간섭 및 도심에서 다양하게 변하는 주변 환경에 의하여 데이터 수신 성능에는 한계가 존재함에 따라 본 연구에서는 무선 네트워크에 재전송 기법을 적용하여 전파 환경의 변화와 재전송에 따른 데이터 수신율 향상을 분석하였다.

I. 서론

도시 환경에서의 무선 센서 네트워크를 통한 데이터 송수신은 주변의 고정된 건물 또는 시설물, 사람 및 차량의 이동, 날씨의 변화 등 전파환경이 달라짐에 따라 그 성능에 영향을 받는 특징을 가지고 있다. 따라서 전파 환경의 변화에 대처하기 위하여 고감도 안테나 기술, 무선 간섭 회피 기술, 데이터 속도 동적 변경을 통한 ADR(Adaptive Data Rate) 기술 등 여러 가지 기법을 적용하여 통신 성능을 향상시키고자 하고 있다[1]. 이와 같이 전파 환경 극복을 위한 다양한 개선 방법을 통해서도 물리적으로 열악한 전파환경을 극복하는 데는 한계가 있을 수 있다. 본 논문에서는 도시 환경에서의 수자원 또는 도로 교통 등 다양한 인프라에 대한 실시간 정보 수집을 위하여 LoRa 기반의 IoT(Internet of Things) 무선 센서 네트워크를 구축하고 재전송 기법을 적용하여 무선 데이터의 수신율 측정과 성능을 분석하였다.

II. 인프라 초연결 IoT 네트워크 구성 및 성능 분석

2.1 IoT 센서 네트워크 구성 및 시험 환경

도시는 상하수 등의 수자원 인프라들과 차량 이동을 위한 도로 인프라 등의 인간이 생활하는데 필요한 다양한 기반 시설들이 있으며, 이와 같은 인프라들에 대한 초연결을 통하여 실시간 데이터 수집이 가능하다. 인프라에 대한 다양한 정보들은 여러 가지 센서를 통하여 계속되고 IoT 센서 네트워크를 통하여 실시간으로 전달될 수 있다. IoT 센서 네트워크는 관리 대상 인프라의 해당 계층 센서와 연결되는 IoT 통신 단말들과 무선 데이터를 송수신하는 IoT 게이트웨이로 구성된다. IoT 단말은 일정한 주기 또는 이벤트 발생에 의하여 계층 센서로부터 인프라 상태 정보를 수집하고 무선 센서네트워크를 통하여 IoT 게이트웨이로 송신한다. IoT 게이트웨이는 다수의 IoT 단말들로부터 수신한 인프라의 상태 정보가 포함된 데이터들을 인프라 통합관리 플랫폼으로 전달한다.

본 연구에서는 야외 환경에서 무선 전송 성능이 우수한 특징을 가지는 저전력 장거리 전송 기반의 LoRa 방식[4][5][6][7]을 IoT 무선 통신 기술로 적용하였다. 본 연구의 LoRa 무선 전송은 900MHz(917MHz

~923.5MHz) 대역의 Spread Spectrum 변조 방식 기반으로 최대 8개의 무선 채널을 동시에 사용할 수 있도록 설계하여 IoT 게이트웨이의 멀티 채널 운용이 가능하도록 하였다. 또한 각 채널은 Spectrum Factor에 따라 6개의 데이터 전송 속도를 동적으로 변경할 수 있다. 전송 속도의 동적 변경은 전파 환경 변화에 따른 전송 성공률 향상을 위한 최적의 속도로 변경 가능한 특징을 가진다. 즉, 전파 환경이 양호한 경우 속도를 빠르게 하여 전송 시간을 줄이고 전파 환경이 열악한 경우 전송 속도를 느리게 하여 무선 링크 수신 감도의 버짓을 확보함으로써 데이터 전송 성공률을 높이는 장점이 있다. 그림 1은 인프라 초연결을 위한 IoT 네트워크 구성과 성능 측정을 위한 시험 환경을 보여주고 있다.

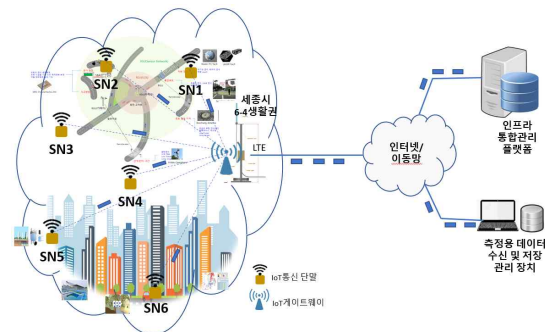


그림 1. IoT 네트워크 구성 및 시험 환경

2.2 센서 네트워크 전파 환경 측정 및 성능 분석

본 연구에서는 도시 인프라 통합관리[2][3]를 위하여 세종시 6-4생활권 실증단지에서 구축된 LoRa 기반 IoT 센서 네트워크를 통하여 성능 시험을 수행하였다. 도시 관리 대상 시설물 인프라의 상태 측정을 위한 해당 센서들과 실시간 데이터 전송을 위한 센서 노드를 설치하고 실증단지 중심에 게이트웨이를 설치하여 IoT 센서 네트워크를 구축하였다. 그림 2는 실증단지에서 구축된 IoT 센서 네트워크의 구축 현황을 보여주고 있다. IoT 센서 노드 SN1, SN2, SN5는 게이트웨이와의 전송 경로 상에 아파트가 밀집되어 LoS(Line of Sight)가 보장되지 않는 상황이며, SN3, SN4는 LoS가 보장되는 비교적 양호한 전파 환경 상황이다. 또한 SN6는

게이트웨이의 바로 옆 10m 이내에 근접하여 위치하고 있다. 본 연구에서의 데이터 측정은 실증단지에서 운영되는 데이터에 대하여 그림 1에서와 같이 별도의 시험 장치를 사용하여 30일간에 걸쳐 데이터를 수집하고 각 노드로부터 수신되는 데이터의 전파 수신 감도와 재전송을 포함한 수신 성공률을 측정하였다.



그림 2. 도심 환경 IoT 센서 네트워크 구축 현황

그림 3은 게이트웨이가 6개의 IoT 센서 노드로부터 수신한 패킷의 측정 수신 감도를 패킷의 수신 시간에 따라 나타내고 있다. 각 노드에서의 수신 패킷별 측정치로부터 노드별 평균 전파 수신 감도는 -105.38 (SN1), -101.35(SN2), -87.21(SN3), -84.84(SN4), -95.83(SN5), -41.34 (SN6) dBm으로 계산되었다. 그림 3과 평균 수신 감도로부터 데이터 전송 전파 경로상에 아파트가 밀집된 상황인 SN1, SN2로부터의 수신 감도가 열악함을 알 수 있으며, 거리는 상대적으로 멀지만 LoS 환경이 거의 보장되는 SN3, SN4의 수신 감도가 양호함을 알 수 있다.

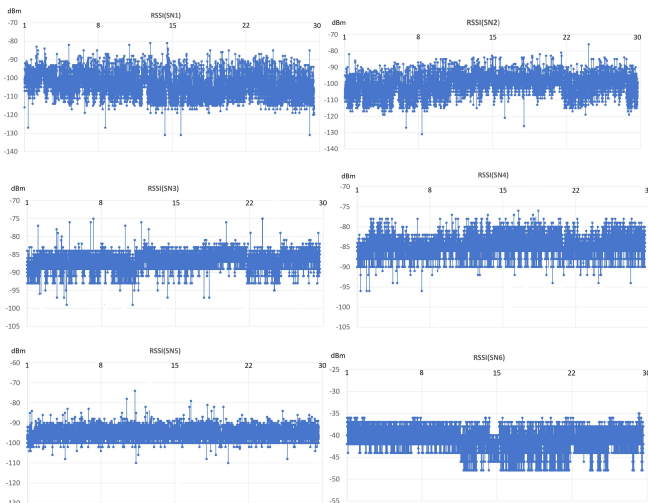


그림 3. IoT 노드들로부터의 전파 수신 감도

게이트웨이는 2분마다 전체 센서 노드로 데이터 전송 요구를 하고 각각의 센서 노드는 계속된 센싱 정보를 즉각 게이트웨이로 전송하며, 게이트웨이는 데이터 요청 후 일정한 시간(10초)내 노드로부터의 데이터 수신에 되지 않으면 미수신된 노드에 대하여 재전송 요구를 수행한다. 표 1은 각 센서 노드별 송신한 패킷에 대하여 정상적으로 수신된 패킷 수와 재전송 요구에 의하여 수신된 패킷 수를 보여주고 있으며, 이와 함께 패킷 누적 수신율을 나타내고 있다. 밀집된 고층 아파트 건물로 인한 전파환경이 매우 열악한 SN1은 세 번의 재전송을 통하여 91.97%의 첫 수신 성공률로부터 99.94%까지 개선하여 패킷 유실율을 최소화하였으며, SN2

도 비교적 열악한 전파환경에서 패킷 수신 성공률을 99.98%까지 향상시켰다. 한편 SN3, SN4, SN5, SN6은 표1에서 보여주듯이 최대 두 번의 재전송을 통하여 100% 데이터 수신에 성공하였음을 알 수 있다.

표 1. 센서 노드별 데이터 수신 감도 및 수신 성공률

노드 번호	노드별 송신 패킷수	노드별 수신 패킷수 (수신율)	1차 재전송 수신 패킷수 (누적 수신율)	2차 재전송 수신 패킷수 (누적 수신율)	3차 재전송 수신 패킷수 (누적 수신율)	유실 패킷수
SN1	21,600	19,866 (91.97%)	1,369 (98.31%)	340 (99.88%)	14 (99.94%)	11
SN2	21,600	21,002 (97.23%)	514 (99.61%)	77 (99.96%)	3 (99.98%)	4
SN3	21,600	21,531 (99.68%)	64 (99.98%)	5 (100%)	-	-
SN4	21,600	21,526 (99.66%)	67 (99.97%)	7 (100%)	-	-
SN5	21,600	21,507 (99.43%)	78 (99.93%)	15 (100%)	-	-
SN6	21,600	21,585 (99.93%)	15 (100%)	-	-	-

III. 결론

본 논문에서는 도심 환경 인프라 초연결을 위한 IoT 무선 센서 네트워크를 통하여 인프라에 대한 실시간 데이터 수집 성능 시험을 수행하였다. 실증단지 현장에 구축된 센서 노드의 위치와 아파트 건물 등으로 인하여 게이트웨이로 전송되는 무선 경로상의 전파 환경의 차이를 확인하였고, 전파 간섭 및 다양한 주변 환경으로부터 무선 전송에서의 패킷 수신율을 향상시키기 위하여 재전송 기법을 적용하여 패킷 유실을 최소화하였다. 사물인터넷, 인공지능, 빅데이터 등을 위한 데이터의 중요성이 높아짐에 따라 무선 통신을 통한 데이터 수집에 있어서 무선 네트워크의 신뢰성 또한 중요해졌다. 이를 위해 현장의 전파 환경을 충분히 분석하여 최적의 셀플래닝과 간섭 회피, ADR, 재전송, 안테나 등 다양한 기술의 복합적 적용이 요구된다.

사사(Acknowledgment)

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 자율주행기술개발혁신사업(과제번호 22AMDP-C160501-02)과 환경부/한국환경산업기술원 지능형 수자원 관리사업(과제번호 2019002950001)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 최병철, 류재홍, 박주덕, 이창원, “수자원 인프라 초연결 IoT 센서네트워크 개발,” 한국통신학회 추계종합학술발표회, 2021.11.
- [2] 박주덕, 여건민, 추현국, 조현중, “도로상황 인지의 지능화를 위한 도로변 IoT시스템 구조,” 통신정보융합동학술대회(JCCI2022), 2022.4.
- [3] 김하룡, 이정민, “가상물리시스템 기반 지능형 도시수자원 통합관리 기술 개발,” 한국대기환경학회 학술논문집, 2019.11, p.227.
- [4] 홍성준, 김재현, 박진영, 박광목, 방선배, “LoRa를 활용한 자가 무선 네트워크 성능 측정에 관한 연구,” 한국전기학회 학술대회논문집, 2019. 04, p.165.
- [5] 임준영, 이재민, 김동현, 김종덕, “실내 외 공간에서 거리에 따른 LoRa(Long Range) 성능 분석,” 정보과학회논문지, 2017. 07, pp.733-741.
- [6] 김기영, “장거리 무선통신 IoT 네트워크 효율성 분석,” 한국정보전자통신기술학회논문지, 2016. Vol.9, No.6.
- [7] LoRa Alliance, “What is LoRaWAN Specification,” (<https://loralliance.org/about-lorawan/>)