

QGIS를 활용한 스마트축사 통신 커버리지 및 성능 분석

송기웅, 이명훈*

국립순천대학교

sibyk2@naver.com, * leemh777@scnu.ac.kr

A QGIS-Based Analysis of Communication Coverage and Performance in Smart Livestock Farms

Song Ki Woung, Lee Myeong Hun*

Sunchon National Univ.

요약

본 논문은 스마트축사 환경에서 주요 통신 프로토콜(LoRa, Zigbee, Wi-Fi(MQTT), 5G)의 성능을 비교하고, QGIS 기반 공간분석을 통해 통신 커버리지와 지연 분포를 시각화하였다. 시뮬레이션으로 normal, congested, harsh 시나리오를 구성하고, 지연시간·손실율·처리율을 산출하였다. QGIS의 거리 가중 보간(IDW)과 커버리지 오버레이를 적용한 결과, LoRa는 넓은 범위에서 높은 지연을 보였고, Zigbee는 근거리 안정적 통신, Wi-Fi(MQTT)는 중거리 균형형 성능, 5G는 저지연·저손실 특성을 나타냈다. 본 연구는 QGIS를 활용한 통신 품질의 공간적 분석 절차를 제시함으로써, 스마트축사 통신망 설계와 장비 배치 최적화에 활용될 수 있음을 확인하였다.

I. 서론

최근 축산업은 생산성 향상과 인력 의존도 감소를 위해 스마트축사 기술을 적극 도입하고 있다[1]. 온·습도, 환기, 가스농도 등을 자동으로 제어하고 사료 급이·생육 모니터링을 실시간으로 수행하기 위해서는 다양한 IoT 장비가 안정적으로 통신하는 네트워크 인프라가 핵심 요소로 작용한다[2]. 국립축산과학원은 5G 기반 축산 ICT 실증사업을 통해 고해상도 영상 및 환경데이터를 실시간으로 전송하는 저지연 통신망의 필요성을 입증하였다[3]. 또한 농림축산식품부는 「스마트축산 확산 추진계획」에서 센서·제어 장비 간 데이터 연동을 위한 통신망 고도화 및 표준화를 핵심 기반사업으로 제시하였다[4]. 그러나 기존 연구들은 주로 개별 프로토콜의 성능 비교나 신호 세기 분석에 집중되어 있으며, 축사 내 통신 품질의 공간적 편차를 시각화하고 정량화한 사례는 드물다. 이에 본 연구는 QGIS의 공간분석 절차(IDW 보간, 베퍼레이, 오버레이)를 적용하여 스마트축사 내 주요 통신 프로토콜(LoRa, Zigbee, Wi-Fi(MQTT), 5G)의 커버리지 및 지연 특성을 공간적으로 분석하고, 통신 인프라 설계 및 최적화에 활용 가능한 분석 모델을 제시하고자 한다.

II. 연구방법

본 논문에서는 스마트축사(200×150 m) 환경에서 주요 통신 프로토콜 LoRa, Zigbee, Wi-Fi(MQTT), 5G의 성능 특성을 비교·분석하기 위해 시뮬레이션 기반 데이터를 활용하였다. 각 프로토콜은 환경 조건에 따라 normal, congested, harsh 세 가지 시나리오로 구분하였으며, 전송 패킷 수, 성공 패킷 수, 손실율, 평균 지연시간, 처리율을 산출하였다. 시뮬레이션은 프로토콜별 통신 특성(기본 지연, 지터, 손실율, 처리율)을 반영한 가상 통신 링크 모델을 기반으로 수행하였으며, 각 조합(프로토콜 × 시나리오)에 대해 2000회의 패킷 송수신을 반복하였다. 이를 통해 혼잡도 증가와 환경 악화에 따른 통신 품질 변화를 정량적으로 평가하고, 산출된 결과를 CSV 형식으로 저장하였다.

이후 QGIS 환경에서 시뮬레이션 결과를 공간 데이터로 변환하여 분석을

수행하였다. 분석 영역은 200×150 m 크기의 축사 구역으로 설정하였으며, 좌표계는 EPSG:5181(Korea Central Belt 2010)을 사용하였다. 중심 허브(기지국)는 (100, 75) 지점에 위치하도록 설정하였다.

통신 성능의 공간적 분포를 시각화하기 위해 QGIS의 거리 가중 보간(Inverse Distance Weighting, IDW) 알고리즘을 적용하였다. 각 프로토콜별 평균 지연시간(lat_avg_ms)을 포인트 피쳐로 입력하고, 가중치수 p = 2.0을 적용하여 연속형 래스터 지도를 생성하였다. 지연시간 Z(x,y)는 다음과 같이 표현된다.

$$Z(x, y) = \frac{\sum i = 1^n (z_i / d_i^p)}{\sum i = 1^n (1 / d_i^p)}$$

여기서 z_i 는 측정지점 i의 지연(ms), d_i 는 거리이다. 프로토콜별 통신 반경은 문헌 및 실측 자료를 참고하여 LoRa 1000 m, Zigbee 30 m, Wi-Fi(MQTT) 80 m, 5G 120 m로 설정하였다.

QGIS의 Vector Buffer 기능을 이용해 중심 허브를 기준으로 각 프로토콜의 커버리지 베퍼를 생성하였으며, 이를 IDW 결과와 중첩(Overlay)하여 통신 커버리지 내 지연 분포를 하나의 통합 지도로 표현하였다.

III. 결과 및 분석

본 연구의 분석 결과는 통신 프로토콜별 성능 특성과 공간적 분포를 시각적으로 제시하였다.

지연시간, 손실율, 처리율은 시뮬레이션을 통해 수집된 데이터를 기반으로 시나리오별 비교 그래프(그림 1-3)로 나타냈으며, 이를 통해 환경 변화에 따른 통신 안정성과 효율성을 정량적으로 비교하였다.

또한, QGIS의 거리 가중 보간(IDW) 알고리즘과 커버리지 오버레이(Buffer Overlay) 절차를 활용하여 각 프로토콜의 지연 특성을 공간적으로 표현하였다.

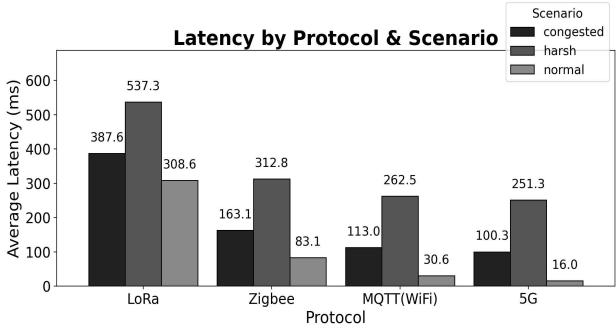


그림 1 프로토콜 및 시나리오별 평균 지연시간(ms)

그림 1은 네 가지 통신 프로토콜(LoRa, Zigbee, Wi-Fi(MQTT), 5G)의 평균 지연시간을 시나리오별(normal, congested, harsh)로 비교한 결과이다. LoRa는 모든 조건에서 300 ms 이상의 높은 지연을 보였으며, Zigbee는 근거리 환경에서 80~300 ms 수준으로 안정적인 응답 시간을 유지하였다. Wi-Fi(MQTT)는 30~260 ms 범위로 5G 다음으로 빠른 통신을 보였고, 5G는 최소 16 ms, 가혹 조건에서도 250 ms 수준으로 가장 우수한 지연 성능을 보였다.

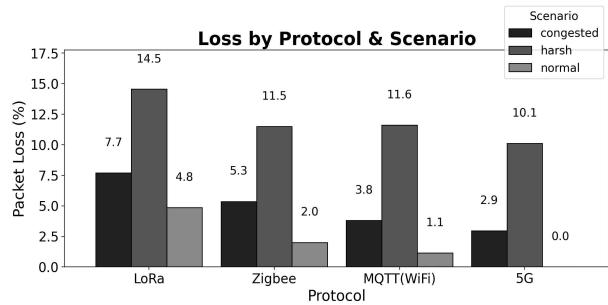


그림 2 프로토콜 및 시나리오별 패킷 손실율(%)

그림 2는 패킷 손실율을 비교한 결과이다. 5G는 모든 환경에서 0~10% 수준으로 가장 낮은 손실율을 기록하였으며, Wi-Fi(MQTT)와 Zigbee는 환경 악화에 따라 각각 1→11%, 2→11%로 증가하였다. LoRa는 4~15%로 가장 높은 손실을 나타내어 장거리 통신의 한계를 보여주었다.

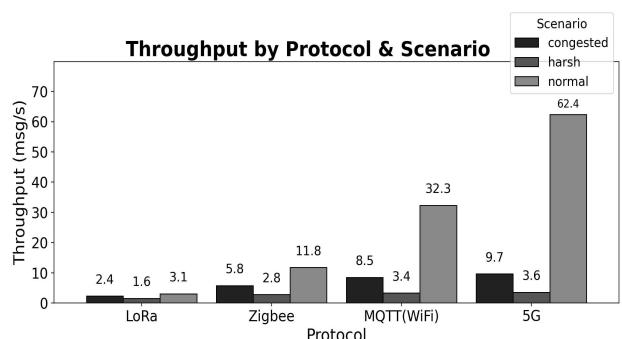


그림 3 프로토콜 및 시나리오별 처리율(msg/s)

그림 3은 처리율(초당 메시지 수)을 비교한 결과이다. 5G는 정상 조건에서 62 msg/s로 가장 높은 값을 보였고, 혼잡(congested) 및 가혹(harsh) 환경에서도 각각 9.7 msg/s, 3.6 msg/s를 유지하였다. Wi-Fi(MQTT)는 정상 32 msg/s로 두 번째로 높았으며, Zigbee와 LoRa는 각각 12 msg/s, 3 msg/s 수준으로 낮았다. 이는 5G와 Wi-Fi(MQTT)가 실시간 제어 및 고속 데이터 전송에 가장 적합함을 의미한다.

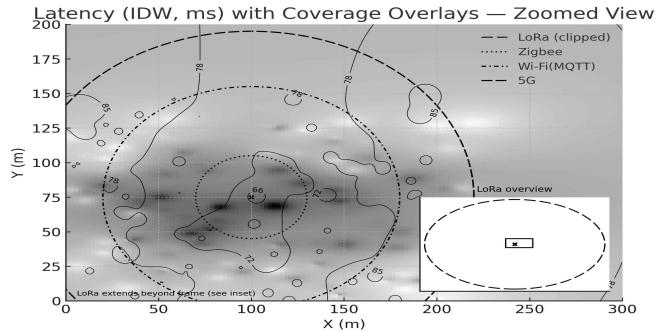


그림 4 QGIS 기반 커버리지 오버레이를 통한 지연시간 공간분포
그림 4는 QGIS의 거리 가중 보간(IDW) 결과에 프로토콜별 통신 반경(Buffer)을 중첩(Overlay)하여 도출한 지연시간 공간 분포 지도이다. 밝은 영역은 저지연(빠른 통신), 어두운 영역은 고지연(느린 통신)을 의미한다. LoRa는 넓은 커버리지를 갖지만 전반적으로 높은 지연을 보였으며, 5G는 중심 허브 주변에 저지연 영역이 집중되어 있다. Wi-Fi(MQTT)는 중거리 범위에서 균질한 저지연 분포를 형성하였고, Zigbee는 근거리 안정적 영역을 보였다. 일부 어두운 구역은 보간 가중치 특성으로 강조된 결과로, 절대적 성능 저하를 의미하지 않는다.

IV. 결론

본 연구에서는 QGIS의 공간분석 기능을 활용하여 스마트축사 내 주요 통신 프로토콜(LoRa, Zigbee, Wi-Fi(MQTT), 5G)의 성능 특성을 비교·분석하였다. 시뮬레이션 데이터와 QGIS의 거리 가중 보간(IDW) 및 커버리지 오버레이 절차를 결합하여 축사 내 통신 성능의 공간적 분포를 정량적으로 시각화하였다. 분석 결과, LoRa는 넓은 통신 범위를 가지지만 지연과 손실이 높았고, Zigbee는 근거리에서 안정적인 통신을 유지하였다. Wi-Fi(MQTT)는 중거리 구간에서 균형 잡힌 성능을 보였으며, 5G는 저지연·저손실의 우수한 특성을 나타냈다.

본 연구의 QGIS 기반 지도 분석을 통해 각 프로토콜의 커버리지와 지연 특성 간 상관관계를 명확히 규명하였으며, 이러한 결과는 향후 통신망 설계, 장비 배치 최적화, 네트워크 성능 예측 모델링 등과 같은 실무적 의사결정에 유용한 근거로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

“본 결과물은 농림축산식품부 및 과학기술정보통신부, 농촌진흥청의 지원으로 농림식품기획평가원과 재단법인 스마트팜연구개발사업단의 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음 (RS-2025-02306080)”

참 고 문 현

- [1] 권경석. (2017). ICT 융복합 기술을 이용한 축산 스마트팜 연구 개발 및 추진 현황. 한국농공학회지, 59(2), 38-45.
- [2] 허선영, 박종호, 이준현. (2021). 국내 축산분야 ICT 융합 기술개발 동향 및 가축 육종에서의 활용. Journal of Animal Breeding and Genomics, 5(4), 171 - 180.
- [3] 연합뉴스. (2019, 8월 28일). LGU+, 국립축산과학원과 5G 기반 스마트 축산 활성화 맞손. 한국경제.
- [4] 농림축산식품부. (2024). 스마트축산 확산을 위한 추진계획. 정부 업무 보고서.