

스마트축사 환경에서 MQTT-JSON 프로토콜을 활용한 데이터 수집·검증 프레임워크 설계

김현준, 이명훈*

*국립순천대학교

khy0098@naver.com, *leemh777@scnu.ac.kr

Design of a Data Collection and Verification Framework Using the MQTT-JSON Protocol in a Smart Livestock Barn Environment

Kim Hyun Jun, Lee Meong Hun*

*Sunchon National Univ.

요 약

본 연구에서는 스마트축사 환경에서 MQTT-JSON 융합 기반 데이터 수집 및 통신 품질 검증 프레임워크를 설계·구현하였다. 기존 스마트축사에서는 RS485(Modbus) 기반 유선 통신이 주류를 이루고 있으나, 다량의 데이터를 실시간으로 전송하고 클라우드·AI 분석과 연계하는데 한계가 있었다. 이에 본 연구는 RS485 기반 센서·사양관리기기에서 발생하는 데이터를 Modbus-MQTT 게이트웨이를 통해 MQTT 프로토콜로 변환·전송하고, JSON 포맷으로 구조화하여 저장·분석할 수 있는 통합 프레임워크를 제안하였다.

I. 서 론

최근 국내 축산업은 생산성 향상과 노동력 절감을 위해 ICT를 접목한 스마트축사 도입이 확대되고 있다. 스마트축사는 온·습도, 급이·급수량, 개체 활동량 등 다양한 환경·사양관리 데이터를 실시간으로 수집·분석하여 가축의 건강과 생산성을 최적화하는 시스템으로, 기존 수작업 중심의 축산관리 방식을 혁신하고 있다.

그러나, 현재 국내 스마트축사에서 사용되는 통신 방식은 RS485 기반 유선 프로토콜이 주류를 이루고 있으며, 이는 통신속도가 낮고, 다량의 데이터를 실시간으로 전송하기 어렵다는 한계가 존재한다. 또한 기자재 제조사별로 데이터 항목·형태 단위가 상이하여 이기종 장비 간 호환성 확보가 어려우며, 클라우드·AI 서비스와의 연계성도 떨어진다. 이러한 문제는 스마트축사 기술의 고도화 및 표준화·국제화 추진에 있어 가장 큰 걸림돌 중 하나로 지적받고 있다[1].

최근 MQTT(Message Queuing Telemetry Transport) 프로토콜은 IoT·스마트농업 분야에서 경량 고속무선 환경에 최적화된 통신방식으로 주목받고 있다. MQTT는 Publish-Subscribe 구조를 기반으로 낮은 대역폭에서도 안정적인 메시지 전달을 지원하며, JSON(JavaScript Object Notation)과 같은 경량 데이터 포맷과 결합할 경우, 다양한 센서·사양관리기기에서 발생하는 데이터를 효율적으로 구조화·저장·전송할 수 있다[2].

본 연구에서는 이러한 배경하에 MQTT-JSON 융합 기반 스마트축사 데이터 수집 및 통신 품질 검증 프레임워크를 설계하였다. 제안된 프레임워크는 스마트축사 내 센서·사양관리기기에서 수집되는 데이터를 MQTT 프로토콜과 JSON 포맷을 이용하여 표준화·전송하고, 하드웨어 및 소프트웨어 통합 검증 환경을 통해 데이터 신뢰성과 통신 품질을 평가·확보하는 것을 목표로 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 스마트축사 데이터 수집 및 통신 환경 현황과 기존 RS485 기반 구조의 한계를 분석하고, MQTT-JSON 융합 방식의 필요성을 제시한다. 3절에서는 MQTT-JSON 융합 기반 데이터 수집 및 통신 품질 검증 프레임워크의 H/W/S/W 구조와 검증 절차를 설계한다. 4절에서는 시험 구동 결과와 기대효과를 기술하며, 5절에서는 결론을 맺는다.

II. 스마트축사 데이터 수집 및 통신 환경 현황

II.1. 기존 RS485 Modbus 기반 통신 구조의 한계

국내 스마트축사에서 널리 사용되는 통신방식은 RS485 Modbus 기반 유선 프로토콜이다.

이 방식은 단순하고 안정적인 Master/Slave 구조를 통해 비교적 저비용으로 구현할 수 있다. 그러나, 본질적으로 저속·유선 구조 중심의 통신 구조를 갖고 있어 다량의 데이터를 실시간으로 전송하거나 클라우드·AI 기반 분석 플랫폼과 연동하는데 전송거리·대역폭·확장성 등에서 제약이 발생한다.

II.2 MQTT-JSON 융합 방식 도입의 필요성

해당 제약의 한계를 극복하기 위하여 MQTT 프로토콜과 JSON 포맷을 결합한 데이터 수집·전송 구조가 주목받고 있다. MQTT는 Pub-Sub 모델을 기반으로 경량 메시지를 지원하며, 낮은 대역폭에서도 안정적인 통신을 보장하고, 다양한 QoS 레벨을 통해 데이터 손실을 최소화할 수 있다[3].

또한, JSON 포맷은 센서·사양관리기기에서 발생하는 데이터를 가볍고 구조화된 형태로 표현할 수 있어, 데이터 항목·단위·형태를 표준화하고 클라우드·AI 분석 서비스와의 연계성을 높인다. 이러한 특성을 이기종 기자재 간 데이터 호환성 확보, 실시간 모니터링 및 원격제어 등이 유리하다.

따라서, 스마트축사 환경에서 MQTT-JSON 융합 방식을 도입·검증하면 기존 RS485 기반 통신의 한계를 극복함과 동시에 차세대 표준 검증 시스템 구축의 기반 마련이 가능하다.

III. MQTT-JSON 융합 기반 데이터 수집 및 통신 품질 검증 프레임워크 설계

III.1 하드웨어(H/W) 구조 설계

제안하는 프레임워크는 스마트축사 내 다양한 센서·사양관리기기에서 발생하는 데이터를 MQTT-JSON 기반으로 수집·전송하도록 설계되었다.

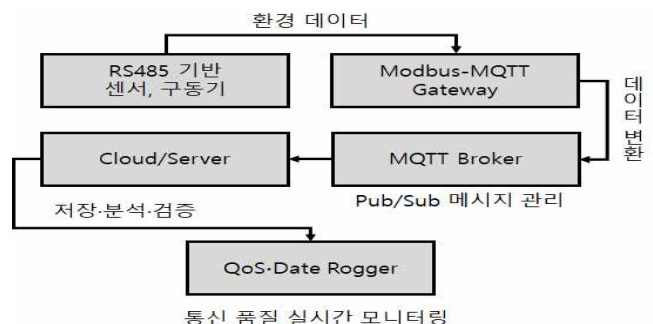


그림 1. 하드웨어(H/W) 구조 흐름도
Figure 1. Hardware Architecture Flowchart

현장에 설치된 환경 및 사양관리센서는 대부분 RS485 인터페이스를 통해 데이터를 수집하고 있으며, 이를 그대로 수용하여 Modbus - MQTT 게이트웨이에서 MQTT 메시지로 변환한다. 이때, RS485는 단순히 센서노드의 물리적·로컬 통신 인터페이스로만 사용되고 실제 데이터 전송·분배는 MQTT 프로토콜이 담당한다. 게이트웨이는 Jetson TX와 같은 임베디드 시스템을 활용하여 현장 설치의 유연성과 저전력 구동을 확보하였다. 변환된 MQTT 메시지는 브로커를 통해 클라우드 또는 로컬 서버로 전달되며, QoS 측정 장치·패킷·데이터 로거 등을 추가 배치하여 통신 품질을 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 하였다.

III.2 소프트웨어(H/W) 구조 설계

소프트웨어는 MQTT 브로커, 토픽 설계, JSON 파서 및 데이터 저장 모듈, 통신 검증 모듈로 구성하였다. MQTT 브로커(Mosquitto 기반)는 Pub - sub(노드) 간 메시지 교환을 관리하며, 토픽 구조는 축종/위치/센서ID/데이터 종류와 같이 계층적·표준화된 방식으로 정의하였다[4].

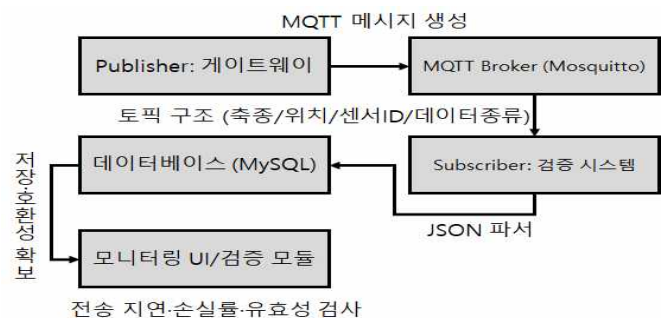


그림 2. 소프트웨어(S/W) 구조 흐름도
Figure2. Software Architecture Flowchart

수신된 MQTT 메시지는 JSON 파서를 통해 구조화되어 DB에 저장되고, 통신 검증 모듈이 전송지연, 패킷손실, QoS별 신뢰성 등을 측정·기록한다.

표 1. MQTT-데이터 수집을 위한 토픽 구조(예시)
Table 1 MQTT Topic Structure for Data Collection (Example)

데이터 ID	센서 유형	데이터 토픽	상태 토픽
Temp1	온도센서	/barn/sensor/temp001/data	/barn/sensor/temp001/status
Hum1	습도센서	/barn/sensor/hum001/data	/barn/sensor/hum001/status
Co21	Co2센서	/barn/sensor/co2001/data	/barn/sensor/co2001/status
Nh31	암모니아센서	/barn/sensor/nh301/data	/barn/sensor/nh301/status

또한 JSON 스키마를 활용하여 각 센서·사양관리기기의 필수 항목을 정의하고(표 1), Default Register Map과 매핑하여 데이터의 정확성과 일관성을 자동으로 검증할 수 있도록 하였다.

III.3 통신 품질 검증 항목 및 절차 설계



그림 3. 통신 품질 검증 절차 흐름도
Figure3. Communication Quality Verification Procedure Flowchart

제안된 프레임워크의 통신 품질 검증은 H/W·S/W 통합 E2E(End-to-End) 시험으로 수행하였다. 주요 검증 항목은 RS485 기반 센서·사양관리기기와 게이트웨이 연결간 연결 안정성 확인(노드 연결 시험), MQTT QoS 0·1·2별 전송시간, 패킷손실률 측정(메시지 전송 시험), 데이터 포맷 및 매핑

정확도 검증(JSON 유효성 검사), 브로커-서버 간 메시지 처리량(실시간 모니터링) 총 4단계로 진행하였다[5].

IV. 테스트 및 통신 성능 평가 및 기대효과

제안한 MQTT-JSON 융합 기반 스마트축사 데이터 수집 및 통신 품질 검증 프레임워크는 연구실 환경에서 모의 스마트축사 환경을 구축하여 시험 테스트를 수행하였다. 연구실 내 RS485 기반을 모사한 노드와 MQTT 게이트웨이를 구성하여 데이터가 MQTT 메시지로 변환·전송되는 과정을 검증하였으며, MQTT-JSON 구조는 RS485 단독 방식 대비 평균 데이터 전송 속도가 30% 가량 향상되고, 손실률은 1% 미만으로 확인되었다.

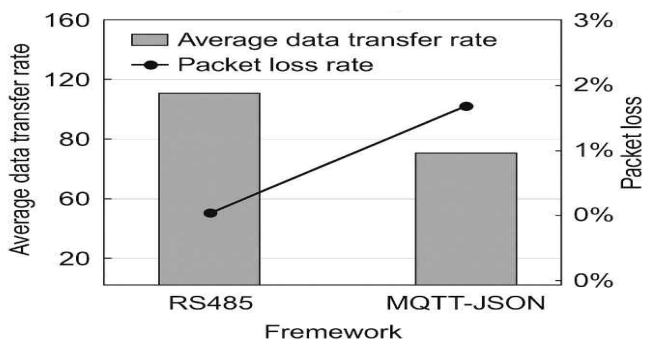


그림 4. RS485 단독과 MQTT-JSON 융합의 성능 차이 그래프
Figure4. RS485 vs MQTT-JSON Performance Comparison Graph

제안 프레임워크는 기존 제조사·축종별로 상이했던 데이터 항목·형태 단위를 JSON 스키마와 Default Register Map 기반으로 통합함으로써, 이기종 기자재 간 데이터 호환성을 확보가 가능한 것을 확인하였다.

V. 결론

본 연구에서는 스마트축사 환경에서 MQTT-JSON 융합 기반 데이터 수집 및 통신 품질 검증 프레임워크를 설계하고, 연구실 내 모사환경에서 구현·시험 평가를 수행하였다. RS485 기반 센서·사양관리기기 데이터를 Modbus-MQTT 게이트를 통해 MQTT 메시지로 변환·전송하고, JSON 포맷으로 구조화·저장함으로써 기존 RS485 단독 방식의 한계를 보완하였다. 연구실 환경 테스트 결과, 제안된 프레임워크는 데이터 전송속도와 신뢰성 측면에서 우수한 성능을 보였으며, 주요 품질 검사 지표로의 검증이 수행되었다. 해당 연구는 향후 실제 농가 및 축사 환경에서 확장·적용하여 ICT기자재의 품질관리·검정제도 등 안착의 기초자료로 활용될 수 있을것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

“본 결과물은 농업축산식품부 및 과학기술정보통신부, 농촌진흥청의 재원으로 농림식품기술기획평가원과 재단법인 스마트팜연구개발사업단의 스마트팜다부처패기 지혁신기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2024-00406426)”

참 고 문 헌

- [1] 정민호, 오형석, “산업용 센서 네트워크에서 RS-485와 무선 IoT 프로토콜의 성능 비교,” 한국통신학회논문지, 제45권 제11호, 2020, pp. 2075-2083
- [2] 김관형 외, “MQTT 기반 스마트 플랫폼 개발,” 한국정보통신학회논문지, 2021년, 제46권 제5호, pp.490-497
- [3] S. Kim “안정적인 사물인터넷 플랫폼을 위한 MQTT 기반 데이터 수집 솔루션” 한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) 20년4호, 2016, pp.728-738
- [4] 김우조, 최진규. “MQTT 기반 IoT 홈 시스템 구현,” 한국인터넷방송통신학회 논문지 20권 1호, 2020, pp.231-237.
- [5] 이영동. “IoT 환경에서의 메시징 시스템의 성능 분석에 관한 연구.” 융합 신호처리학회논문지 24권 2호, 2023, pp.112-118