

이기종 프로토콜 통합을 위한 인터넷 비의존 로컬 통합 허브 아키텍처 구조 제안

노동진, 주귀화, 박성현, 김석찬*

부산대학교*

djnoh@pusan.ac.kr, zhuguohua@pusan.ac.kr, shpark24@pusan.ac.kr, sckim@pusan.ac.kr*

Proposal for an Internet-Independent Local Communication Hub Architecture for Heterogeneous Protocol Integration

Dongjhin Noh, Guohua Zhu, Seonghyeon Park, Suk Chan Kim*

Pusan National Univ*

요약

본 논문은 RS485, Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee 등의 이기종 프로토콜 기기들을 단일 로컬 통합 허브에서 상호운용하도록 통합하는 프로토콜 융합 아키텍처를 제안한다. 기존 별도 클라우드 허브의 커버리지 한계와 인터넷 상시 의존, 비용 및 운영 복잡도의 문제를 로컬 처리와 오프라인 자율성을 갖춘 New Cloud Gateway 설계를 제시한다. RS485, Wi-Fi, Bluetooth 등의 다양한 프로토콜의 로컬 연동을 통해 제안한 아키텍처가 인터넷 단절 상황에서도 서비스 지속성을 확보하고 지연을 낮추며, 관리 효율과 비용 측면에서의 개선 효과를 달성할 것으로 기대한다.

I. 서론

본 논문에서는 RS485, Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee 등 다양한 이기종 프로토콜을 단일 로컬 통합 허브로 융합하여, 인터넷 상시 연결과 외부 클라우드 허브 의존도를 낮출 수 있는 아키텍처를 제안한다. 기존 구조에서는 RS485, Bluetooth 및 Zigbee 데이터 등과 클라이언트 기기 간 Wi-Fi 통신을 별도의 클라우드 허브가 중개했다. 이로 인해 커버리지 제약, WAN 장애 시 서비스 중단, 운영 복잡도 증가 등의 문제가 발생했다. 본 논문의 목표는 이기종 프로토콜을 로컬에서 융합하여, 다양한 제어기와 홈빌딩 IoT 간 상호운용을 확보하고, 로컬 네트워크 통신으로 지연과 손실을 최소화함과 동시에 신뢰성과 관리 효율을 높이는 새로운 로컬 통합 허브를 설계 및 구현하는 데 있다. 이를 위해 단일 로컬 통합 허브 상에서 RS485, Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee 등의 이기종 프로토콜들이 공존하는 통합 네트워크의 토대를 제안하고, 해당 이기종 프로토콜들을 로컬 네트워크로 처리하는 파이프라인과 메커니즘을 제시한다.

II. 본론

RS485는 차동 신호 기반의 반이중 직렬 통신 표준으로, 장거리 전송과 다중 노드 접속에 적합해 산업, 빌딩 설비에서 널리 사용된다. 두 선(A/B) 간 전압 차를 해석하는 방식 덕분에 전자기 잡음에 강하고, 종단 저항, 바이어싱을 통해 라인 반사를 억제하며 신호 무결성을 유지할 수 있다. 하나의 버스에 다수 장치를 멀티드롭으로 연결할 수 있어 배선 비용과 확장 부담을 줄이고, 필요에 따라 Modbus RTU 등 상위 프로토콜을 얹어 프레임화, 오류 검출, 주소화를 수행한다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 그림 1과 같이 RS485 HAT(Hardware Attached on Top)을 장착한 두 대의 라즈베리파이와 Zigbee 온습도 센서, Wifi AP, Client Device로 구성된다. RS485기기 역할을 하는 라즈베리파이에서 시뮬레이션 프레임 생성하여 로컬 통합 허브 역할을 하는 라즈베리파이에서 시뮬레이션 프레임을 수집해 수집, 정규화 파이프라인을 검증함으로써 실제 현장 RS485 장치 데

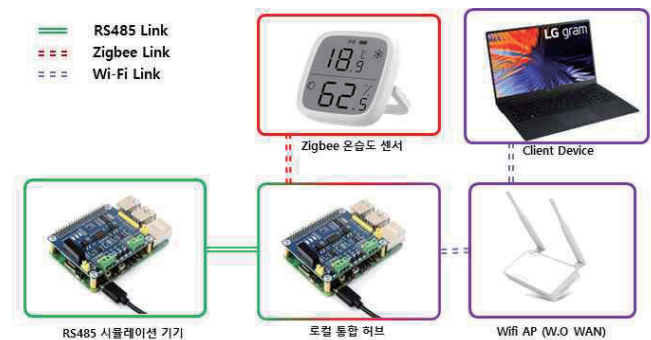


그림 1 이기종 통합 프로토콜 네트워크 구성도

이터와 동일한 경로에서 안정적으로 처리되도록 설계하였다.

Zigbee 온습도 센서는 기존 온습도 측정이 실내기 내부 센서 또는 벽부형 리모컨에 국한될 때 발생하는 공간적 편향을 보정하는 데 핵심 역할을 한다. 실내기 내부는 흡입풍의 영향, 열교환기 인접 고저온 영역, 기기 자체 발열 등으로 인해 체감과 괴리가 생기기 쉽고, 리모컨 부착 위치는 외벽 인접, 태양 빛 일사, 창문 혹은 문 등의 개구부, 전열체 주변 등 미세환경의 영향을 크게 받는다. 결과적으로 실제 점유자가 생활하는 위치의 평균 복사온도, 기류, 습도 분포와 센서 값 사이에 체계적 오차가 누적될 가능성이 높다. Zigbee 온습도 센서는 다음의 이유로 이 괴리를 줄이고 제어 품질을 높인다. 첫 번째로 거실, 침실, 작업구역 등 점유자 근접 지점에 다점 배치가 가능해, 공간별 국소 미기후를 표본화하고 가중 평균 또는 지역별 제어 기준을 산출할 수 있다. 두 번째로, 무선 설치 유연성 덕분에 가구 배치, 태양 빛 일사 변화, 환기 패턴 등이 바뀌어도 센서 위치를 쉽게 재조정할 수 있어, 계절, 거주 패턴 변화에 따른 편향을 최소화한다.

제안하는 로컬 통합 허브는 RS485 측에 대해서는 시뮬레이션 프레임워크를 도입하여 바이트 스트림 수집과 형식 변환 파이프라인을 검증하고,

2025년도 한국통신학회 추계종합학술발표회

Zigbee 경로에서는 Zigbee2MQTT 기반의 토크 구독을 통해 실제 온도, 습도, 배터리, 링크품질과 같은 구조화된 JSON 페이로드를 수집한다. 그림 2와 같이 로컬 통합 허브에서 Zigbee 온습도 센서의 실제 환경 측정 데이터와 RS485 데이터를 동시에 수집 및 통합하는 것에서 출발한다.



그림 2 로컬 통합 허브에 수신된 RS485 데이터(좌) 와 온습도 데이터(우)

수집 계층은 이기종 포맷을 공통 메시지 형식으로 정규화하여 타임스탬프, 장치 식별자, 품질 지표를 일관되게 부여하고 정렬한다. 정규화된 데이터는 로컬 모니터링 파이프라인으로 유입되어 GUI 대시보드와 파일 로그에 동시에 반영된다. 관리자는 RS485 수신을 HEX, BIN 등으로 확인 가능하고, Zigbee 센서의 최신 측정과 링크 품질을 함께 확인한다. 지연을 최소화하기 위해 각 RS485데이터와 Zigbee 온습도 데이터는 서로 독립적으로 병렬 및 동시에 최신화한다. WAN 연결이 없는 상태에서도 실시간 상태 파악과 원격 제어가 가능하도록 하기위해 모든 가공, 표시, 저장에 라즈베리파이 내부에서 완결되도록 구성하였다. 그림 3과 같이 이후 모니터링을 통과한 데이터는 라즈베리파이의 자체 Wi-Fi를 통해 동일 서버넷의 타 클라이언트로 전송된다. 이때, 외부 인터넷(WAN) 연결이 없어도 동작해야 하므로, 게이트웨이는 오직 같은 로컬 네트워크 안의 장치들과만 직접 통신한다. 아울러 동일 서버넷의 클라이언트는 역방향으로 라즈베리파이 로컬 통합 허브에 제어 신호를 전송할 수 있어, 현장 장치에 대한 명령 수행(예: 운전 모드 변경, 설정값 조정, 재기동 지시)이 로컬 환경에서 즉시 반영될 수 있다.

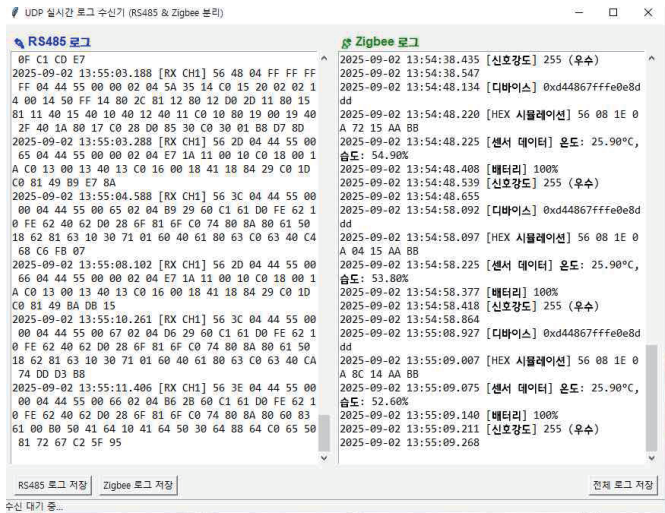


그림 3 클라이언트 기기에 수신되는 통합 데이터

이와 같은 수집→정규화→모니터링→로컬 전송의 단일 경로는 RS485 설비 데이터와 Zigbee 환경 데이터를 같은 시간 기준으로 통합하고, 들어온 순서대로 함께 확인할 수 있도록 구성하여 관찰, 분석하게 해주며, WAN 연결이 불가능한 환경에서도 현장 단위의 운영, 시각화, 알람을 지속 가능하게 만든다. 따라서 유지보수 인력은 동일 서버넷에 연결된 단말에서 실외기의 운전 데이터와 알람을 즉시 조회하여, 외부 인터넷 없이도 실내에서 운전 진단과 실내외기 데이터 확인을 수행할 수 있다.

더불어 프로토콜의 형식 차이로 인한 파싱 오류나 매핑 작업이 줄어드는 덕분에 향후 Bluetooth 기기, 추가 RS485 노드, 다른 Zigbee 디바이스가 유입되더라도 수용 비용이 낮고, 로컬 우선 구조로 제어 명령의 왕복 지연을 억제할 수 있다. 결과적으로 제안한 시스템은 인터넷 연결이 제한된 상황에서도 통합 가시성을 유지하고, 지연을 줄이며, 현장 운영의 안정성을 확보할 수 있다. 더불어 다양한 이기종 프로토콜을 가진 조명, 스위치, 플러그, 환경 센서, 블루투스 기기 등 다양한 IoT 기기를 최소한의 추가 매핑만으로 쉽게 접목하고 즉시 모니터링, 자동화 흐름에 편입할 수 있을 것으로 기대된다.

III. 결론

본 논문은 RS485 설비 데이터와 Zigbee 온습도 데이터를 한 경로로 받아 정리 및 모니터링한 뒤, 라즈베리파이의 Wi-Fi만으로 동일 서버넷의 클라이언트에 배포하는 로컬 중심의 통합 흐름을 제시하였다. 장치 내부 혹은 리모컨 위치에 편중된 기존 온·습도 계측의 한계를 보완하기 위해 점유자 근접 지점에 Zigbee 센서를 배치하고, RS485 값과 함께 같은 시간 기준으로 정리해 실제 체감 환경을 더 정확히 반영한다. 또한, 단일 게이트웨이에서 RS485, Wi-Fi, Zigbee가 공존하도록 네트워크 기반을 설계하고, 서로 다른 포맷의 데이터를 같은 틀로 담는 형식을 적용함으로써 수집, 모니터링, 저장, 전송 등의 전 과정을 하나의 규칙으로 단순화했다. 외부 인터넷 연결이 없어도 동작할 수 있도록, 로컬 UDP 전송과 MQTT 퍼블리시를 병행하여 데이터 유실을 최소화하고 응답성을 유지했다. 결과적으로 제안 구조는 인터넷 의존도를 낮추고, 제어 지연과 운영 복잡도를 줄이며, 설치, 확장 시 형식 통일을 통해 통합 비용을 낮출 것으로 기대된다. 향후에는 블루투스 기기와 다양한 Zigbee IoT 디바이스들을 단계적으로 추가하여 범용 장치군을 확장하고, 공통 형식 기반의 규칙, 자동화 템플릿을 보강해 에너지, 궤적도 최적화와 장애 자가복구 능력 등을 한층 고도화할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 2023년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT)

연구비 지원에 의한 연구임 (00144500)

이 논문은(또는 교재는) 국토교통부의 스마트시티 혁신인재육성사업으로 지원되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Elamanov S., Son H., Kim K., “Interworking between Modbus and internet of things platform for industrial services,” Digital Communications and Networks, vol. 10, no. 2, pp. 461 - 471, Apr. 2024
- [2] Abdelwahed S. H., Hefny I. M., Hegazy M., Said L. A., Soltan A., “Survey of IoT multi-protocol gateways: Architectures, protocols and cybersecurity,” Internet of Things, Review Article, 2025.