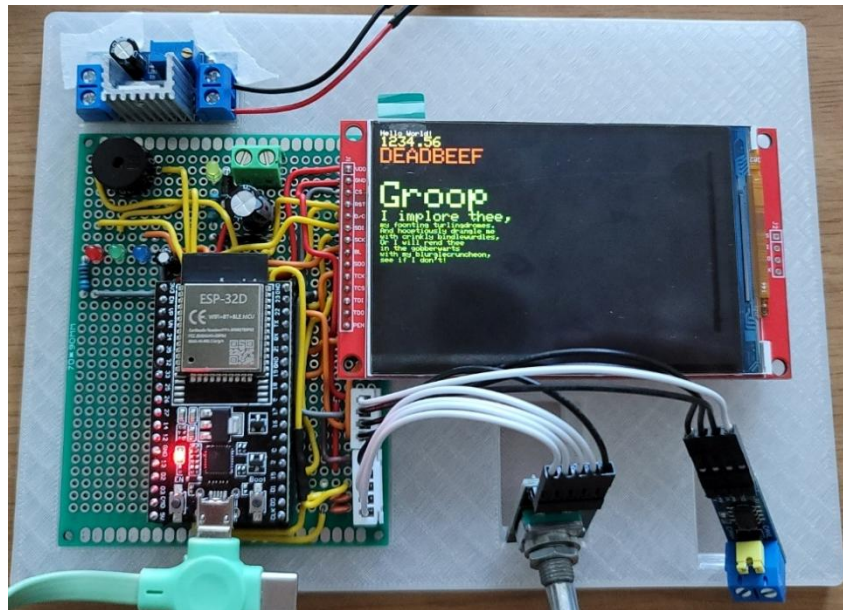


Main Controller Module

메인 컨트롤러 모듈

펌웨어 요구사항 정의서 v0.1.0



1. 문서 이력

버전	작성자	일자	변경 내용
V0.1.0	김선욱	2025-11-05	요구사항 초안 최초 작성

2. 버전 관리 규칙 (Semantic Versioning)

- MAJOR(1.x.x) : 구조 변경, 큰 변경, 호환성 깨짐
- MINOR(0.1.x) : 기능/항목 추가, 호환성 유지
- PATCH(0.0.1) : 오타, 정리, 경미한 수정

3. 문서 목적 및 범위

본 문서는 Aquaponics 시스템의 Main Controller Module(이하 “메인 컨트롤러”) 펌웨어 요구사항을 정의한다.

메인 컨트롤러는 각 현장의 모듈(수조/재배기/양액기/급여기)과 CAN 통신으로 데이터를 교환하고, 라즈베리파이(서버 중계기)와 UART 로 상호 작용하여 시스템을 통합 제어한다. 라즈베리파이 연결 부재 시에도 기본 루틴을 수행하여 시스템의 최소 기능을 유지한다.

범위에는 기능/비기능 요구사항, 통신 프로토콜, UI/입력장치 동작, 데이터 사전, 오류 처리/알람, 설정/영속화, 테스트 및 검증, 유지보수 정책(업데이트) 등이 포함된다.

하드웨어 상세 설계는 범위 외이나 필요한 하드웨어 인터페이스 제약은 기술한다.

4. 용어 정의

- 컴포넌트(Component): 센서, 드라이버 등 단일 기능 하드웨어 단위.
- 컨트롤러(Controller): 여러 컴포넌트를 제어하는 MCU 보드.
- 모듈(Module): 컨트롤러 + 컴포넌트의 기능 단위.
- 메인 컨트롤러: 현장 전체를 총괄 제어하는 ESP32 기반 컨트롤러.
- 서버: 라즈베리파이. UART로 메인 컨트롤러와 연결되며 상위 의사결정을 수행.

- SemVer: 의미적 버전(MAJOR.MINOR.PATCH) 규칙. 문서/펌웨어에 동일 적용.

5. 시스템 개요

하위 모듈 구성 및 통신 관계

- 수조 모듈: ESP32 + (온도, 초음파 수위, pH, TDS, 탁도, DO 센서) + 펌프 드라이버 + 조명 릴레이 + CAN
- 재배기 모듈: ESP32 + (온습도, 누수 감지*4) + LED 드라이버 + CAN
- 양액기 모듈: ESP32 + (스텝모터 드라이버*4, 비접촉 액체 감지) + CAN
- 급여기 모듈: ESP32 + (360도 서보, 홀 센서) + CAN
- 메인 컨트롤러: ESP32 DevKitC WROOM-32D V4(CH9102X) + TFT 터치 LCD + 수동 부저 + 상태 LED(빨/파/초) + 로터리 스위치 + CAN + UART(서버)

운영 개념: 각 모듈은 100ms 주기로 상태/센서 데이터를 CAN으로 보고하며, 메인 컨트롤러는 이를 통합하여 UI에 표시하고 200ms 주기로 서버에 UART로 전송한다. 서버 명령은 메인 컨트롤러가 CAN으로 각 모듈에 전달한다.

6. 플랫폼 및 제약

- MCU: ESP32 DevKitC WROOM-32D V4 (CH9102X)
- 개발 환경: 초기 테스트 Arduino IDE, 최종 프레임워크(Arduino/ESP - IDF/PlatformIO/RTOS)는 개발팀 자율.
- RTOS: 사용 선택 사항(권장: FreeRTOS Task: CAN/ UART/ UI/ Logic).
- 부팅 시간: 전원 인가 후 3초 이내 기본 루틴 시작(Ready).

7. 기능 요구사항 (Functional Requirement)

ID	기능명	설명	우선순위
FR-001	CAN 데이터 수집	각 모듈 상태/센서를 100ms 주기로 수집 (폴링/이벤트 혼합 가능).	상
FR-002	UART 중계기 연동	수집 데이터를 200ms 주기로 라즈베리파이에 전송, 서버 명령 수신 처리.	상
FR-003	UI 표시	TFT 터치 디스플레이에 모듈별 상태 및	상

		센서값 표시, 200ms 주기 갱신	
FR-004	사용자 입력 처리	터치 및 로터리 스위치(회전/클릭)로 모든 UI 조작 가능(터치 불능 대비)	상
FR-005	알람/피드백	부저/LED 로 부팅/종료/클릭/경고/오류 상태 전달	상
FR-006	명령 라우팅	서버 명령을 해당하는 모듈로 CAN 송신 (조명, 급여, 양액, 식물 성장 LED 출력 등)	상
FR-007	독립 운용	서버 연결 끊김 시 설정된 기본 루틴에 따라 시스템 유지.	상
FR-008	로그/이벤트	오류/경고/이벤트 로그를 보관(NVS/순환 버퍼, 용량 정책)	중
FR-009	시간관리	서버 시간 동기(필요 시) 및 스케줄 실행.	중
FR-010	환경설정	화면 끄기 시간, 모듈 활성화, 기본 루틴, 동작 시간, FW 버전/초기화 제공	중

8. UI/입력 요구사항 (UI & Input)

공통: 모든 기능은 로터리 스위치로만 조작 가능해야 하며, 터치 불능/장갑 착용 시에도 운영 가능.

번호	화면	표시/기능	비고
1	Dashboard	전체 모듈 상태 요약, 핵심 센서값, 경고 아이콘	200ms 갱신, 연결/오류 요약
2	수조 상세	수온/수위/pH/TDS/탁도/DO, 조명 ON/OFF, 순환펌프 출력	컨트롤러 모듈로 즉시 제어 가능
3	재배기 상세	온습도, 누수*4 상태, 식물 성장 LED 밝기/스케줄	밝기 슬라이더/스케줄 편집
4	양액기 상세	배합지/공급량, 각 채널 스텝모터 상태, 잔량	수동 공급/정지
5	급여기 상세	먹이 잔량, 급여 이력	즉시 급여/스케줄
6	로그/알림	경고/오류/이벤트 목록 확인/소거	필터/정렬
7	설정	화면 끄기 시간, 모듈 활성화, 기본 루틴, 시간 동기, 동작시간, FW 버전, 초기화	화면 끄기 시간은 선택 저장

•LED 상태: Blue=서버 연결(ON=연결), Green=모듈 통신 정상(ALL OK=ON), RED=경고/오류(발생시 ON)

지표	상태 규칙	비고
Blue LED	서버 연결 시 ON, 끊김 시 OFF	연결 체크 주기 200ms
Green LED	모든 모듈 통신 정상 시 ON, 하나라도 오류면 OFF	집계 주기 100ms
Red LED	경고/오류 존재 시 ON (사용자 확인 시 까지)	확인 시 OFF 또는 상태 완화
부저	부팅/종료/클릭/경고/오류 패턴 재생	패턴 표 참조

•부저 패턴

이벤트	패턴	비고
부팅	200ms ON, 200ms OFF, 2회	시작 알림
UI 클릭	50ms ON 1회	피드백
경고	500ms ON, 500ms OFF 반복	사용자 확인까지 계속
오류/누수	1000ms ON, 500ms OFF 반복	사용자 확인까지 계속

9. 타이밍/성능 요구사항

- CAN 수집: 100ms 주기
- UI 갱신: 200ms 주기
- UART 전송: 200ms 주기
- 부팅: 3초 이내 기본 루틴 시작
- 권장 Task 분리: CAN Rx/Tx, UART Rx/Tx, UI, Control Logic, Alarm/Log

10. 설정/영속화 (Persistence)

저장 위치: NVS(Flash Key-Value), 개발자 판단으로 EEPROM/SPIFFS 대체 가능.

항목	저장	초기값/범위	비고
자동 급여 스케줄	Yes	시간/횟수/양	
양액 배합비/공급량	Yes	0-100%, 채널별	
재배기 LED 밝기/스케줄	Yes	0-100%, 스케줄	

화면 자동 꺼짐 시간	선택	예: 30s/1m/5m/없음	선택 저장
서버/시간 동기 설정	Yes	서버 기준	
모듈 활성화 설정	Yes	모듈별 Enable/Disable	의도적 제거 대비
네트워크 설정 (SSID/PW)	Yes	-	필요 시
UI 설정(언어/테마)	Yes	-	
FW 버전/업데이트 상태	Yes	SemVer	

11. 통신 요구사항 (CAN / UART)

- CAN: 모듈별 고정 ID 방식 사용. CRC 포함, Timestamp 포함, 명령 ACK 필요.

모듈	기본 ID (예시)	메시지 타입(페이로드 CMD)	비고
메인 컨트롤러	0x01	CMD=CTRL/QUERY/ACK/ERR	브로드캐스트 /관리
수조	0x10	SENS/STAT/CMD/ACK/ERR	
재배기	0x20	SENS/STAT/CMD/ACK/ERR	
양액기	0x30	SENS/STAT/CMD/ACK/ERR	
급여기	0x40	SENS/STAT/CMD/ACK/ERR	

- CAN 프레임(예시): [ID][LEN][CMD][FLAGS][TIMESTAMP][PAYLOAD...][CRC]
 - CMD 예: SENS(0x01), STAT(0x02), CMD(0x10), ACK(0x11), ERR(0x12)
 - FLAGS: 비트플래그(알람/경고/옵션)
 - TIMESTAMP: ms 단위 32-bit 롤오버
 - CRC: 16-bit 또는 32-bit(개발팀 선택)
- UART(서버 연동): 200ms 주기 전송, 텍스트/바이너리 중 택1(개발팀 선택).
 - 권장 프레임: [STX][LEN][TYPE][DATA...][CRC][ETX]
 - TYPE: 상태/센서/이벤트/로그/ACK/ERR

12. 데이터 사전 (Data Dictionary)

항목	단위/형식	범위	비고
수온	°C, float	0-50	
수위	mm, float	0-100	초음파
pH	float	0-14	
TDS	ppm, int	0-5000	
탁도	NTU, float	0-1000	
용존산소	%/mg/L	0-100%	
온도(재배기)	°C, float	-20-60	
습도(재배기)	%, float	0-100	
누수 상태	bitfield	0/1 x4	
양액 배합비	%, int	0-100	채널별
양액 공급량	mL, int	0-10000	채널별
급여량	g/회, int	0-1000	
LED 밝기	%, int	0-100	

13. 오류 처리/알람 정책 (Error Handling & Alarms)

- 공통 정책: 문제 발생 시 서버에 경고 메시지 전송. 해결 여부와 상관없이 심각도에 따라 사용자 확인 전까지 경고 알람 유지.

코드	분류	조건	동작(부저/LED /UI)	해결 정책
E-CAN-LOST	통신	모듈 미응답/타임아웃	Red ON, 경고음, UI 배너	재시도/재연결, 기본 루틴 유지
E-SRV-LOST	서버	UART 링크 끊김	Blue OFF, 배너	독립 운용 전환
E-LEAK	안전	누수 감지	Red ON, 오류음 지속	사용자 확인 필요
E-FEED-EMPTY	자원	먹이 고갈	Red ON, 경고음	보충 안내
E-WATER-LOW	자원	수위 부족	Red ON, 경고음	펌프 보호
E-NUTRI-LOW	자원	양액 부족	Red ON, 경고음	보충 안내
E-SENSOR-ABN	센서	이상치/범위 외	Red ON, 경고음	무시/보정/교체 지침
E-MAINT-DUE	정비	점검 기한 임박	경고음 간헐	스누즈/확인

- Watchdog: 시스템 멈춤 방지. 치명적 오류 시 자동 재부팅(개발자 재량으로 승인 요

구 가능).

- 통신 오류: 지수적 Backoff 재시도, 일정 임계 초과 시 상태 고착 방지 로직 수행.

14. 페일세이프/독립 운용 (Fail-safe)

- 서버 미연결 시: 저장된 기본 루틴(스케줄/한계값 기반)으로 운용.
- 모든 모듈 통신 상실 시: 가능 범위 내 최소 기능 유지(개발팀 판단으로 제외/권한 제한 가능: 사용자 승인 필요 옵션).

15. 테스트 및 검증 (Verification & Validation)

TC ID	테스트 항목	절차/입력	기대 결과
TC-001	부팅 시간	전원 인가	3초 이내 기본 루틴 시작
TC-002	CAN 수집	모듈 연결, 100ms 모니터	주기 내 데이터 수신
TC-003	UART 전송	서버 연결, 200ms 모니터	주기 내 패킷 수신
TC-004	UI 조작	터치 불능 환경, 로터리만 사용	모든 기능 조작 가능
TC-005	알람	누수/고갈/오류 시뮬레이션	Red ON + 부저 패턴 + 로그 + 서버 통지
TC-006	독립 운용	UART 케이블 분리	기본 루틴 지속, Blue OFF
TC-007	설정 저장	설정 변경 후 재부팅	값 유지(NVS)
TC-008	ACK/CRC	명령 송신/응답 확인	ACK 수신, CRC 일치

16. 유지보수/업데이트 (Maintenance & Updates)

- Wi-Fi OTA: 사용하지 않음 (NO).
- 라즈베리파이 → ESP32 업데이트 트리거: YES (UART/USB 경로).
- USB 직접 업데이트: YES (개발/현장 서비스).
- 버전 규칙: SemVer(예: v1.2.3). 문서/펌웨어에 동일 적용.