

Protokół Komunikacyjny System Sterowania Wędzarką ESP32 + MQTT

Dokumentacja Techniczna

18 listopada 2025

Spis treści

1	Wprowadzenie	3
2	Struktura Ramek	3
2.1	START_FRAME - Ramka Startowa	3
2.1.1	Szczegółowa Mapa Bajtów START_FRAME	3
2.2	UPDATE_FRAME - Ramka Aktualizacyjna	3
2.2.1	Szczegółowa Mapa Bajtów UPDATE_FRAME	3
3	Komendy i Stany	4
3.1	Komendy Sterujące	4
3.2	Stany Maszyny Stanów	4
3.3	Stany Sterowania Temperaturą	4
3.4	Stany Sterowania Wilgotnością	4
4	Diagram Maszyny Stanów	5
5	Regulator PI	5
5.1	Parametry Regulatora	5
6	Kolejki FreeRTOS	6
6.1	Opis Kolejek	6
6.2	Semaforey	6
7	Przykłady Ramek	7
7.1	Przykład 1: START_FRAME	7
7.2	Przykład 2: UPDATE_FRAME	7
7.3	Przykład 3: CONFIRM_TAKEOUT	7
8	Konfiguracja Sprzętowa	7
8.1	Piny GPIO	7
8.2	Konfiguracja MQTT	7
9	Diagramy Sekwencji	8
9.1	Sekwencja Pełnego Cyklu Wędzenia	8
10	Formaty Danych	8
10.1	Temperatura	8
10.2	Wilgotność	8
10.3	Czas	8

11 Podsumowanie**9**

1 Wprowadzenie

System sterowania wędzarką wykorzystuje protokół komunikacyjny oparty na dwóch typach ramek:

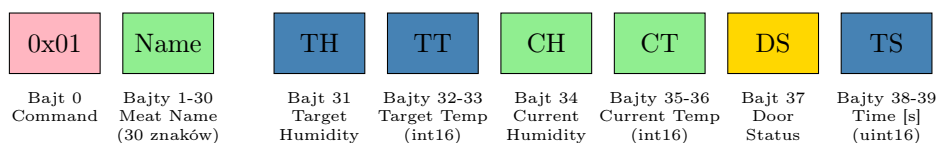
- **START_FRAME** - inicjalizacja procesu wędzenia
- **UPDATE_FRAME** - aktualizacja bieżących parametrów (temperatura, wilgotność)

Komunikacja odbywa się poprzez kolejki FreeRTOS oraz MQTT.

2 Struktura Ramek

2.1 START_FRAME - Ramka Startowa

Ramka inicjująca proces wędzenia. Całkowita długość: **40 bajtów**.



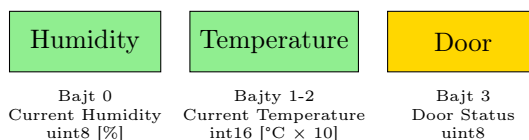
2.1.1 Szczegółowa Mapa Bajtów START_FRAME

Offset	Rozmiar	Typ	Opis
0	1 B	uint8	Komenda (0x01 = START)
1-30	30 B	char[]	Nazwa mięsa (zakończona \0)
31	1 B	uint8	Docelowa wilgotność [%]
32-33	2 B	int16	Docelowa temperatura [$^{\circ}\text{C} \times 10$]
34	1 B	uint8	Aktualna wilgotność [%]
35-36	2 B	int16	Aktualna temperatura [$^{\circ}\text{C} \times 10$]
37	1 B	uint8	Status drzwi (0=zamknięte, 1=otwarte)
38-39	2 B	uint16	Czas wędzenia [sekundy]

Tabela 1: START_FRAME - Szczegółowa specyfikacja

2.2 UPDATE_FRAME - Ramka Aktualizacyjna

Ramka służąca do cyklicznej aktualizacji parametrów. Długość: **4 bajty**.



2.2.1 Szczegółowa Mapa Bajtów UPDATE_FRAME

Offset	Rozmiar	Typ	Opis
0	1 B	uint8	Aktualna wilgotność [%]
1-2	2 B	int16	Aktualna temperatura [$^{\circ}\text{C} \times 10$]
3	1 B	uint8	Status drzwi (0/1)

Tabela 2: UPDATE_FRAME - Szczegółowa specyfikacja

3 Komendy i Stany

3.1 Komendy Sterujące

Komenda	Wartość	Opis
START_PROCESS	0x01	Rozpoczęcie procesu wędzenia
CONFIRM_TAKEOUT	0xAA	Potwierdzenie wyjęcia mięsa

Tabela 3: Komendy systemowe

3.2 Stany Maszyny Stanów

Wartość	Stan	Opis
0	SM_IDLE	Bezczynność, oczekiwanie na START
1	SM_HEATING	Nagrzewanie do temperatury docelowej
2	SM_HUMIDIFYING	Nawilżanie do wilgotności docelowej
3	SM_COOKING	Proces wędzenia (utrzymanie temp/wilg)
4	SM_FINISHED_COOKING	Zakończenie procesu wędzenia
5	SM_COOLDOWN	Schładzanie do 40°C
6	SM_READY_TO_TAKE_OUT	Gotowe do wyjęcia
7	SM_WAIT_FOR_TAKE_OUT_CONFIRMATION	Oczekiwanie na potwierdzenie
8	SM_ERROR	Stan błędu

Tabela 4: Enumeracja stanów maszyny

3.3 Stany Sterowania Temperaturą

Stan	Działanie
TEMP_HEATING	Nagrzewanie z regulatorem PI (PWM 80-255)
TEMP_HOLDING	Utrzymanie temperatury (regulator PI, offset 150)
TEMP_COOLING	Wyłączenie grzałki (PWM = 0)

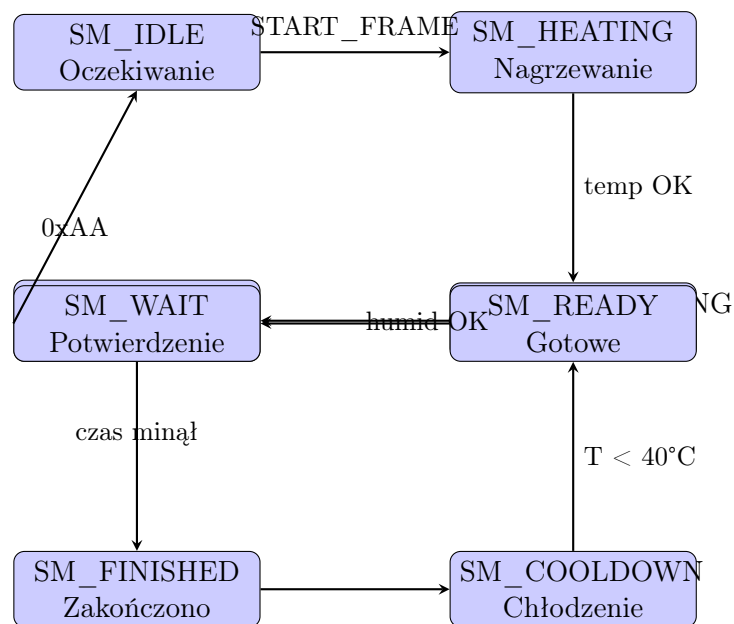
Tabela 5: Tryby sterowania temperaturą

3.4 Stany Sterowania Wilgotnością

Stan	Działanie
HUMIDIFY_ON	Włączenie nawilżania (HIGH)
HUMIDIFY_HOLD	Utrzymanie wilgotności (włącz/wyłącz)
HUMIDIFY_OFF	Wyłączenie nawilżania (LOW)

Tabela 6: Tryby sterowania wilgotnością

4 Diagram Maszyny Stanów



5 Regulator PI

System wykorzystuje regulator PI do sterowania temperaturą:

$$\text{output} = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t) dt \quad (1)$$

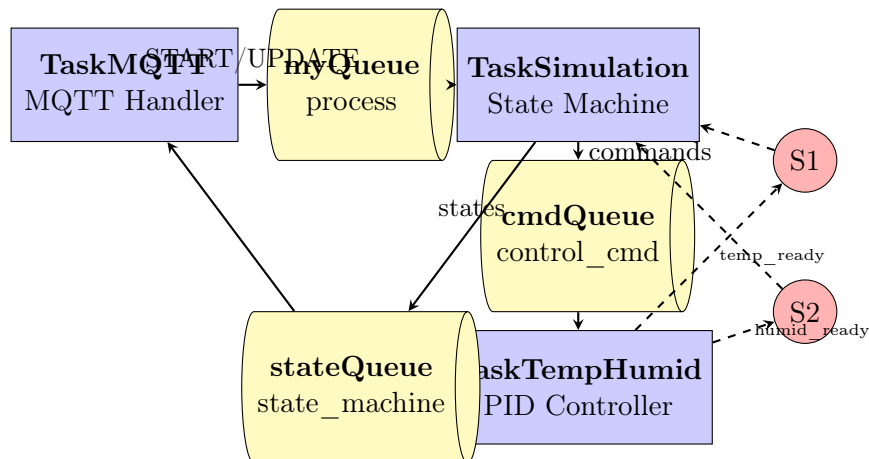
5.1 Parametry Regulatora

Parametr	Wartość	Zastosowanie
K_p (nagrzewanie)	2.5	Wzmocnienie proporcjonalne
K_i (nagrzewanie)	0.05	Wzmocnienie całkujące
K_p (utrzymanie)	1.5	Łagodniejsze sterowanie
K_i (utrzymanie)	0.03	Mniejsza inercja
Integral Max	100.0	Anti-windup
PWM Min	80	Minimalne PWM (stabilność)
PWM Max	255	Maksymalne PWM

Tabela 7: Parametry regulatora PI

6 Kolejki FreeRTOS

System wykorzystuje trzy kolejki do komunikacji między taskami:



6.1 Opis Kolejek

- **myQueue** - Przekazuje ramki START_FRAME i UPDATE_FRAME z MQTT do maszyny stanów
- **cmdQueue** - Wysyła komendy sterujące (temp/humid) z maszyny stanów do kontrolera
- **stateQueue** - Informuje MQTT o zmianach stanu maszyny

6.2 Semafony

- **sem_temp_ready** - Sygnalizuje osiągnięcie temperatury docelowej
- **sem_humid_ready** - Sygnalizuje osiągnięcie wilgotności docelowej

7 Przykłady Ramek

7.1 Przykład 1: START_FRAME

Rozpoczęcie procesu wędzenia schabu:

```
Bajt 0: 0x01          // START_FRAME command
Bajt 1-30: "Schab\0" // Nazwa miesa (reszta wypelniona 0x00)
Bajt 31: 0x50          // Target Humidity = 80%
Bajt 32-33: 0x0258     // Target Temp = 600 (60.0 C)
Bajt 34: 0x1E          // Current Humidity = 30%
Bajt 35-36: 0x00FA     // Current Temp = 250 (25.0 C)
Bajt 37: 0x00          // Door Status = zamkniete
Bajt 38-39: 0x1C20     // Time = 7200s (2h)
```

7.2 Przykład 2: UPDATE_FRAME

Aktualizacja podczas procesu:

```
Bajt 0: 0x4B          // Current Humidity = 75%
Bajt 1-2: 0x0244       // Current Temp = 580 (58.0 C)
Bajt 3: 0x00           // Door Status = zamkniete
```

7.3 Przykład 3: CONFIRM_TAKEOUT

Potwierdzenie wyjęcia mięsa:

```
Bajt 0: 0xAA          // CONFIRM_TAKEOUT command
// (reszta ramki nieistotna)
```

8 Konfiguracja Sprzętowa

8.1 Piny GPIO

Funkcja	Pin GPIO	Tryb
HEATING_PIN	5	PWM (1kHz, 8-bit)
FANS_PIN	6	PWM (1kHz, 8-bit)
WATER_PIN	7	Digital Output

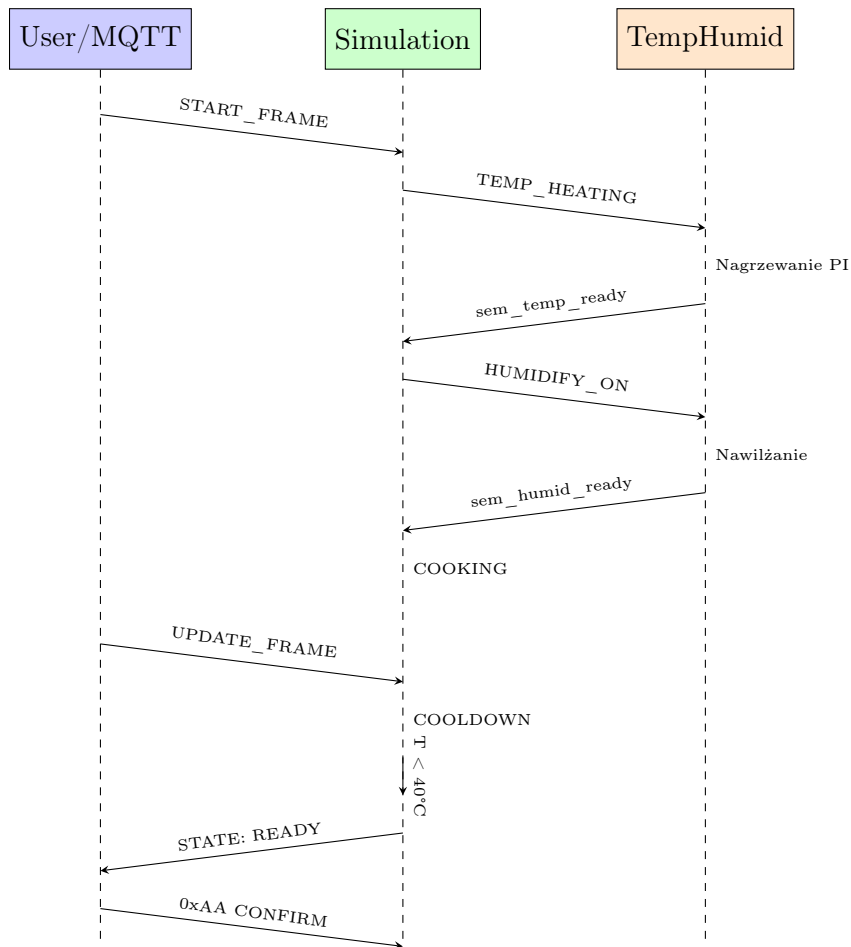
Tabela 8: Mapowanie pinów ESP32

8.2 Konfiguracja MQTT

```
MQTT Broker: (konfigurowalny)
Port: 1883 (standardowy)
Topics:
- Subscribed: (do zdefiniowania)
- Published: (stany maszyny)
```

9 Diagramy Sekwencji

9.1 Sekwencja Pełnego Cyklu Wędzenia



10 Formaty Danych

10.1 Temperatura

- **Typ:** `int16_t` (2 bajty, little-endian)
- **Format:** $^{\circ}\text{C} \times 10$ (dziesiąte części stopnia)
- **Przykład:** $60.0^{\circ}\text{C} = 600 = 0x0258$
- **Zakres:** -3276.8°C do $+3276.7^{\circ}\text{C}$

10.2 Wilgotność

- **Typ:** `uint8_t` (1 bajt)
- **Format:** Procent [0-100%]
- **Przykład:** $75\% = 0x4B$
- **Zakres:** 0-255 (użytkowy: 0-100)

10.3 Czas

- **Typ:** `uint16_t` (2 bajty, little-endian)

- **Format:** Sekundy
- **Przykład:** 2 godziny = 7200s = 0x1C20
- **Zakres:** 0-65535s (18 godzin)

11 Podsumowanie

System sterowania wędzarką wykorzystuje:

- Dwutypowy protokół komunikacyjny (START + UPDATE)
- 9-stanową maszynę stanów
- Regulator PI do precyzyjnego sterowania temperaturą
- Komunikację asynchroniczną przez FreeRTOS i MQTT
- Obsługę temperatur z dokładnością 0.1°C