

programista

4/2026 (125)

Cena 33.90 zł (w tym VAT 8%)

ESP-NOW

Protokół komunikacyjny dla drona

JUŻ W EMPIKU



ISSN 2084-9400

04



Komputer niebinarny. Czy to jest możliwe?

Programista wspomagany sprzętowo

Czy można zastąpić płatne AI lokalnymi?

Własny bot na Discordzie

ECS w silnikach gier i symulacji

Strefa CTF



Protokół ESP-NOW w komunikacji z dronem

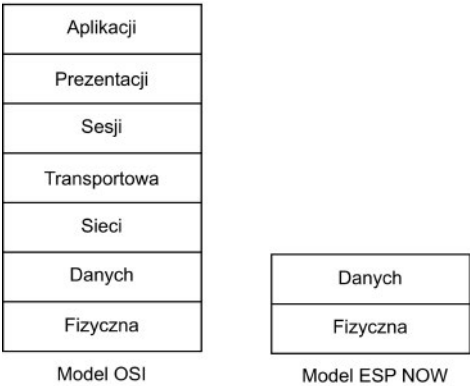
Niniejszy artykuł ma na celu przybliżenie bezprzewodowego protokołu komunikacyjnego ESP-NOW. Omówimy jego strukturę, konfigurację, a także praktyczne wykorzystanie do sterowania dronem. To już drugi artykuł w tematyce okołodronowej – w poprzednim materiale (Programista 6/2025) skupiliśmy się na tym, jak drony ustalają swoją orientację w przestrzeni.

I ESP-NOW

Protokół ESP-NOW, opracowany przez firmę Espressif, wykorzystywany jest do bezprzewodowej komunikacji typu *peer-to-peer* pomiędzy urządzeniami ESP. Jego charakterystyczną cechą jest transmisja danych bez nawiązania i utrzymania stałego połączenia między komunikującymi się modułami (ang. *connectionless*). W przeciwieństwie do standardowej komunikacji Wi-Fi, która wymaga procedury autoryzacji połączenia z punktem dostępowym i następnie utrzymania sesji z routerem, ESP-NOW pracuje całkowicie w trybie bezpołączeniowym.

Ponadto w ESP-NOW uproszczono cały stos sieciowy (Rysunek 1) do dwóch najniższych warstw: fizycznej i łącza danych. Eliminacja narzutu wyższych warstw sieciowych sprawia, że wymiana informacji jest znacznie szybsza i w mniejszym stopniu obciąża procesor, co bezpośrednio przekłada się na niższe zużycie energii.

Warstwa:

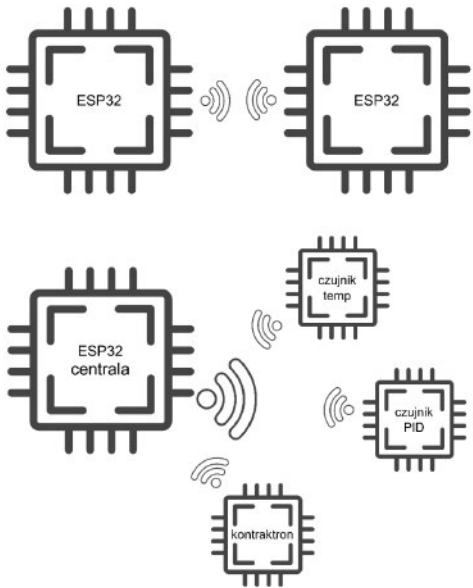


Rysunek 1. Warstwy stosu sieciowego

I Zastosowanie

Protokół ten może być wykorzystywany w topologiach sieci takich jak (Rysunek 2):

- » **Jeden do jednego (1:1):** typ komunikacji zaprezentowanej w dalszej części artykułu, stosowany między innymi w relacji kontroler-dron.
- » **Jeden do wielu (1:N):** schemat wykorzystywany np. w centrach inteligentnego domu, wysyłających polecenia do urządzeń końcowych.
- » **Wiele do jednego (N:1)** – struktura, w której rozproszone czujniki przesyłają informacje (np. o temperaturze) do jednostki centralnej.



Rysunek 2. Topologie sieci: 1:1, 1:N, N:1

Topologie 1:N oraz N:1 nie są tożsame ze względu na sposób transmisji. Wiele do jednego umożliwia pełne szyfrowanie danych. W przypadku konfiguracji jeden do wielu transmisja musi zostać wykonana w trybie rozgłoszeniowym (ang. *broadcast*) lub zaszyfrowana, ale wysłana do każdego urządzenia niezależnie.

Komunikacja w ramach ESP-NOW odbywa się dwukierunkowo i nie wymaga procedury ustanawiania stałego połączenia sieciowego. Gwarantuje to minimalne opóźnienie przesyłu oraz wysoką energooszczędność dzięki wyeliminowaniu następujących procesów:

- » **Ustanowienia połączenia (ang. *handshake*):** W standardowym Wi-Fi urządzenia przechodzą przez czasochłonne etapy uwierzytelniania i przydzielania adresu IP. ESP-NOW wysyła dane od razu po znanym adresie fizycznym (MAC) drugiego układu.
- » **Utrzymanie stałego połączenia:** W przypadku klasycznego Wi-Fi router i urządzenie muszą nieustannie wymieniać pakiety kontrolne, aby potwierdzać aktywność połączenia. Generuje to stały ruch w sieci i zmusza układ do ciągłego czuwania.

Eliminacja tych procesów stanowi ogromną zaletę przy optymalizacji energetycznej sieci Internetu Rzeczy (ang. *Internet of things*). Mikrokontroler może przez większość czasu pozostawać w trybie głębokiego uśpienia (ang. *deep sleep*), wybudzając się jedynie na kilkanaście milisekund w celu dokonania akcji zbierania danych i transmisji. Pominięcie czasochłonnego procesu autoryzacji z punktem dostępowym, takim jak router, znacząco skraca czas aktywności układu.

Przekłada się to bezpośrednio na dłuższą żywotność baterii, co ma kluczowe znaczenie dla urządzeń bezprzewodowych.

I Budowa ramki

Protokół ESP-NOW przysyła pakiety za pomocą specjalnych ramek dostawcy (ang. *vendor specific frames*) – są one hermetyzowane (upakowanie/składanie danych w pełny pakiet) bezpośrednio w warstwie łącza danych. Ich struktura różni się w zależności od wersji protokołu oraz maksymalnej wielkości ładunku (ang. *payload*):

- » **v1.0:** maksymalny rozmiar danych 250 bajtów.
- » **v2.0:** maksymalny rozmiar danych 1470 bajtów.

Pojedyncza ramka ESP-NOW zawiera kilka kluczowych segmentów, które przedstawiono na Rysunku 3.

MAC nagłówek	Kod kategorii	ID dostawcy	Wartości losowe	Specjalna zawartość	FCS
0000	d0 00 00 00 ff ff ff ff	ff ff 10 20 ba 42 79 b4	ff ff 18 fe 34 56 fc af 54	dd 17 18 fe 34 04 02 00	00 00 00 00 00 00 00 48
0010	ff ff ff ff ff ff 70 a3	7f 18 fe 34 56 fc af 54	dd 17 18 fe 34 04 02 00	00 00 00 00 00 00 00 48	27 44 c0 00 00 c8 42 00
0020	dd 17 18 fe 34 04 02 00	00 00 00 00 00 00 00 48	27 44 c0 00 00 c8 42 00	00 00 00 00 00 00 00 48	
0030	27 44 c0 00 00 c8 42 00	00 00 00 00 00 00 00 48			

Rysunek 3. Zrzut przechwyconej ramki typu broadcast

- » **Nagłówek MAC:** Zawiera adresy MAC nadawcy i odbiorcy, czas rezerwacji kanału oraz informacje o typie ramki i kierunku transmisji (pola ToDS oraz FromDS).
 - » Pierwszy bajt D0 definiuje typ ramki jako bezpołączeniową ramkę danych (ang. *action frame*), natomiast drugi bajt określa kierunek transmisji – wartość 00 wskazuje, że pakiet nie jest przesyłany przez punkt dostępowy (router).
 - » Kolejne dwa bajty definiują czas rezerwacji kanału (ang. *duration*) – wartość 00 00 oznacza brak dodatkowych akcji po odebraniu ramki.
 - » Następne 18 bajtów to kolejno: adres MAC odbiorcy (w tym przypadku jest to adres rozgłoszeniowy (ang. *broadcast*)), adres MAC nadawcy oraz identyfikator sieci BSSID (ang. *Basic Service Set Identifier*).
 - » Ostatnie dwa bajty tego segmentu odpowiadają za kontrolę sekwencji, czyli przechowują informację o numerze pakietu oraz jego ewentualną fragmentację.
- » **Kod Kategorii:** Zawiera stałą wartość 0x7f (127), która identyfikuje ramkę jako prywatny format producenta (ang. *vendor specific frames*). Na tej podstawie ramki ESP-NOW, jako nieobsługiwane przez innych producentów, mogą być przez nie automatycznie ignorowane w module Wi-Fi.
- » **ID dostawcy:** Zawiera charakterystyczną dla dostawcy protokołu Espressif wartość 18 FE 34.
- » **Wartości losowe:** Pole o charakterze pseudolosowym, którego celem jest ochrona przed atakami typu powtórzeniowego (ang. *replay*).
- » **FCS:** Zawiera sekwencję kontrolną ramki, czyli 4-bajtową sumę kontrolną CRC-32 w celu wykrycia uszkodzonych ramek.
- » **Specjalne informacje:** Obszar zawierający konfigurację, jak długość, typ czy wersję transmisji v1 lub v2 oraz ładunek.
 - » **Element ID:** Informuje że odebrana ramka należy do prywatnego formatu, nie należy do oficjalnego standardu IEEE

(ang. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*).

- » **Długość:** Określa liczbę bajtów, licząc od następnego elementu.
- » **Identyfikator:** Zawiera informacje o unikalnym identyfikatorze producenta. Jest on wymagany przez standard IEEE do poprawnej enkapsulacji pakietu, aby po zweryfikowaniu prywatnej ramki można było przypisać jej konkretnego dostawcę.
- » **Typ:** Precyzuje rodzaj transmisji, wartość 0x4 oznacza protokół ESP-NOW.
- » **Wersja:** Określa wersję standardu (0x1 lub 0x2). Prezentowana ramka wykorzystuje wersję, która pozwala na przesłanie większego pakietu.
- » **Ładunek:** Zawiera dane specyficzne dla aplikacji (Rysunek 4), w tym przykładzie są to informacje sterujące dla drona. Przesyłane są tu kolejno cztery wartości zmiennoprzecinkowe dla każdego z kątów orientacji oraz moc silników, ponadto zarezerwowano 2 bajty dla dodatkowych informacji. W celu wyrównania do 4 bajtów mamy na końcu 1 bajt wyrównania (ang. *padding*):
 - » *roll* = 00 00 00 00
 - » *pitch* = 00 00 00 00
 - » *yaw* = 48 27 44 c0 = -3.065
 - » *throttle* = 00 00 c8 42 = 100
 - » zarezerwowane dwa bajty: 00 00
 - » wyrównanie: 00

Element ID	Długość	Identyfikator	Typ	Wersja	Ładunek
0xDD	0x17	0x18 fe 34	0x04	0x02	0x00 00 00 00 00 00 00 00 48 27 44 c0 00 00 c8 42 00 00 00

Rysunek 4. Struktura przechwyconej ramki

I Inicjalizacja i transmisja protokołu

Przed wysłaniem ramki musimy zdefiniować adres MAC odbiorcy oraz kanał Wi-Fi, na którym będzie odbywać się transmisja. (Listing 1) Możemy wybrać dowolny kanał z zakresu 1 -13, przy czym najlepszą praktyką jest wybranie jak najbardziej odległych od siebie (np: pierwsza para urządzeń na kanale 1, druga para na 6, a trzecia para na 11), aby zmniejszyć nakładanie się fal i zakłócenia. Warto przy tym pamiętać, że transmisje ESP-NOW są zazwyczaj bardzo krótkie i epizodyczne, dzięki czemu ich negatywny wpływ na zajmowanie pasma czy blokowanie kanałów dla klasycznego Wi-Fi jest znikomy.

Listing 1. Deklaracja podstawowych parametrów

```
uint8_t mac_receiver[ESP_NOW_ETH_ALEN] =
{ 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF };
uint8_t channel_espnow = 1;
```

Proces uruchomienia ESP-NOW wymaga wcześniejszego skonfigurowania stosu Wi-Fi w mikrokontrolerze. W pierwszej kolejności inicjalizujemy pamięć nieulotną NVS (ang. *non-volatile storage*), w której system przechowuje parametry konfiguracyjne. Kolejno inicjalizowany jest komponent abstrakcji sieciowej wraz z pętlą zdarzeń systemowych.