

Budowa lokalizatora GPS z interfejsem LoRaWAN

Mariusz Kubas
Grzegorz Skorupa



World Space Week 2019, Wrocław

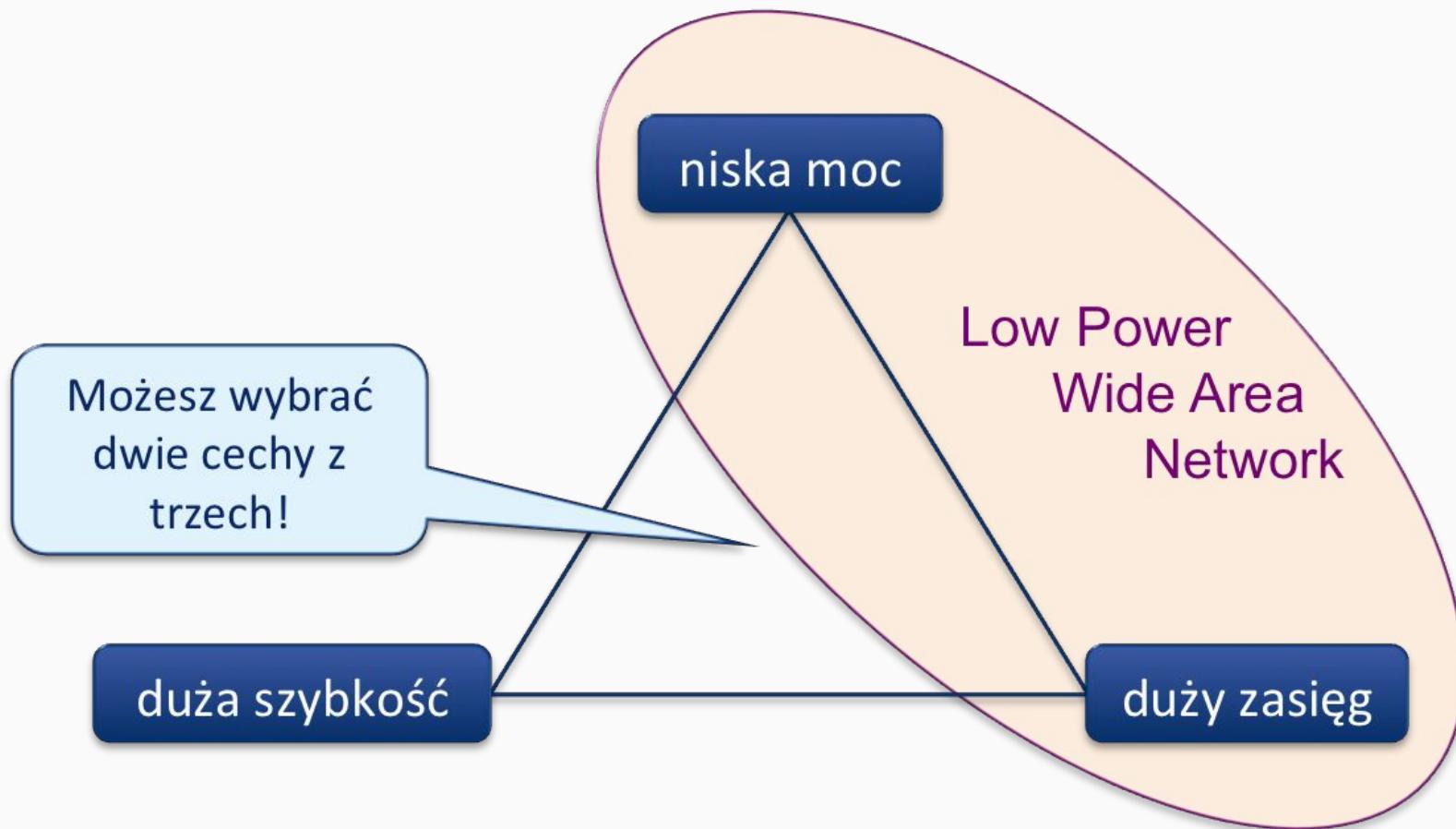
Plan warsztatów

- Technologia LoRa/LoRaWAN
- The Things Network
 - zakładanie konta i realizacja komunikacji w sieci TTN
- Obserwacja pasma - spektrogram
- Systemy nawigacji satelitarnej
 - realizacja komunikacji z modułem GNSS
- Sposoby integracji z TTN
 - przesyłanie danych GPS przez sieć TTN
- Platforma Signomix
 - zakładanie konta i realizacja wizualizacji danych
- Ciekawostki
- Pytania i odpowiedzi

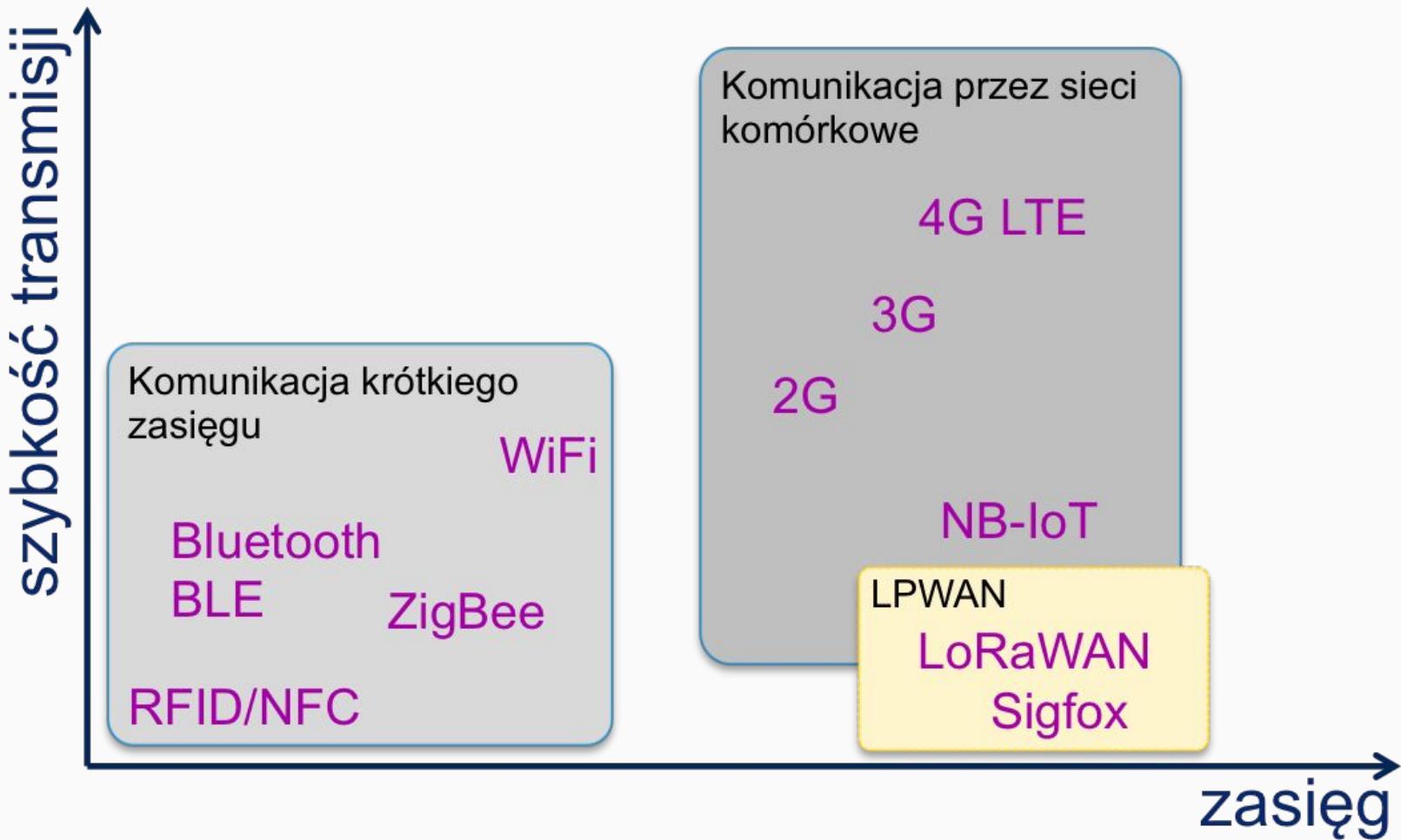
LoRa i LoRaWAN



Kompromisy w zakresie szybkości transmisji, zużycia energii i zasięgu



Technologie LPWAN



Podobne do sieci komórkowych lecz zoptymalizowane dla IoT

- sieć stacji bazowych (struktura gwiazdy)
- duży zasięg stacji (kilometry)
- urządzenia końcowe zasilane baterijnie
- zwykle wykorzystywane pasma otwarte (< 1GHz)

Ograniczenia związane z optymalizacją dla IoT

- surowe zasady dotyczące zajętości łącza
- bardzo zwięzłe i rzadko wysyłane wiadomości
- mała szybkość transmisji

LoRaWAN, Sigfox, NB-IoT (odpowiedź 3GPP)



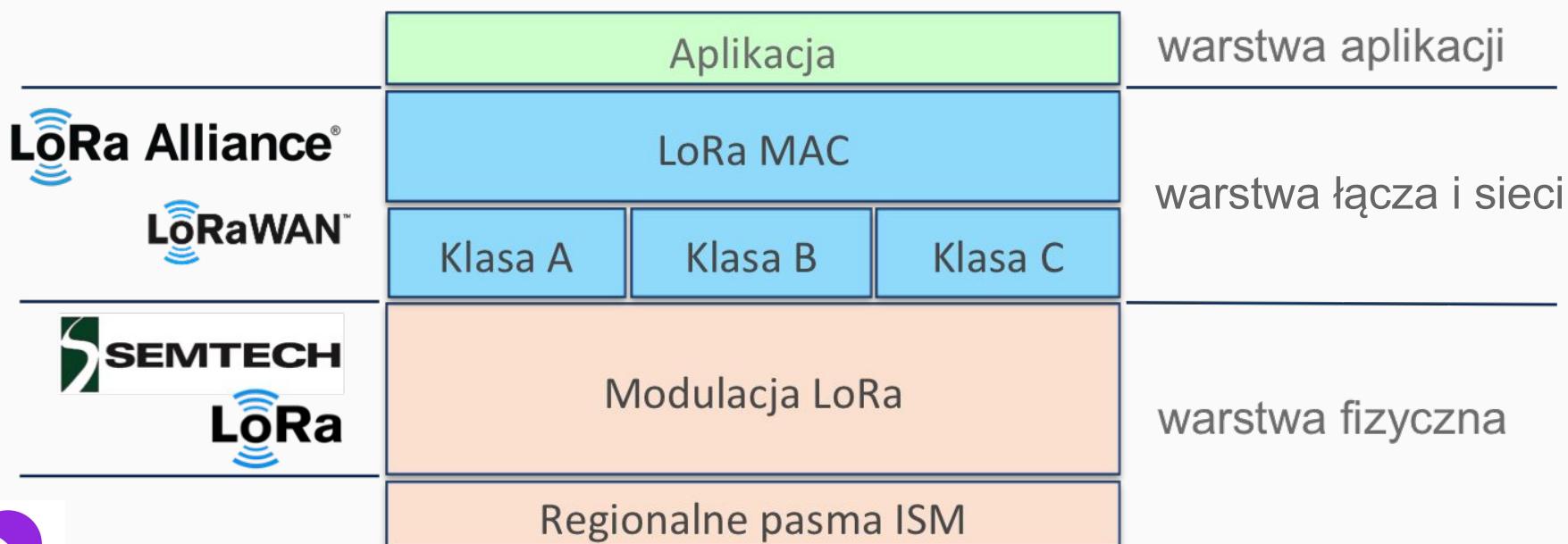
NB-IoT

LoRa

- warstwa fizyczna dla komunikacji bezprzewodowej dalekiego zasięgu

LoRaWAN

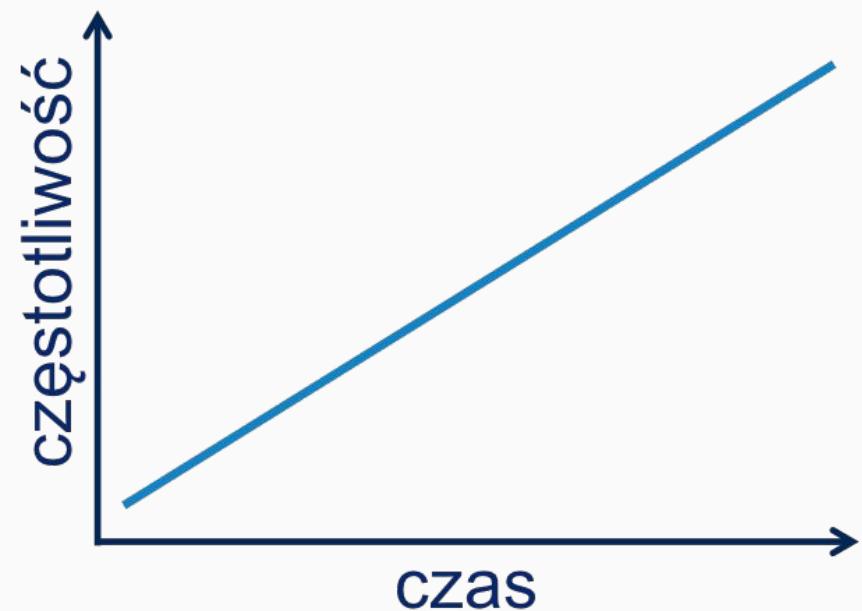
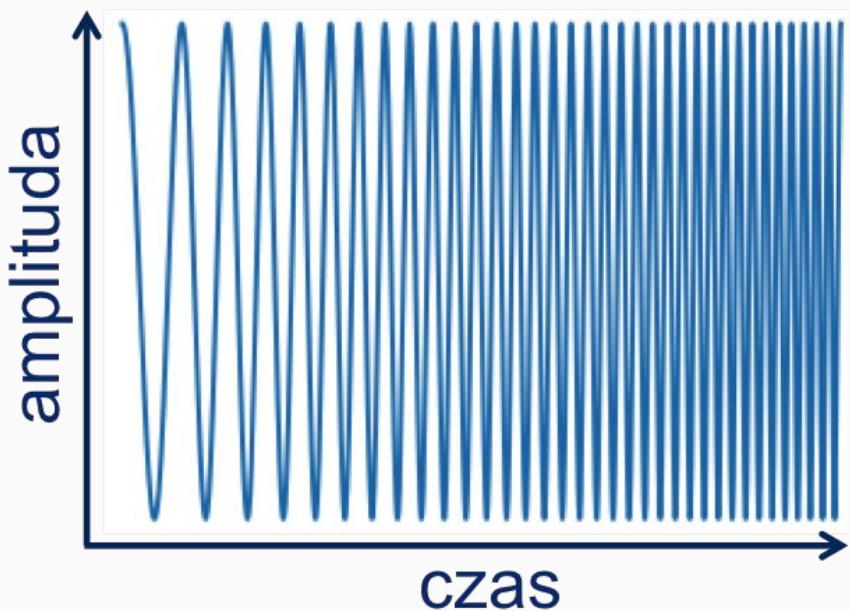
- definiuje architekturę sieci i protokół kontroli dostępu do nośnika (MAC) wykorzystujące warstwę fizyczną LoRa i FSK



LoRa - modulacja

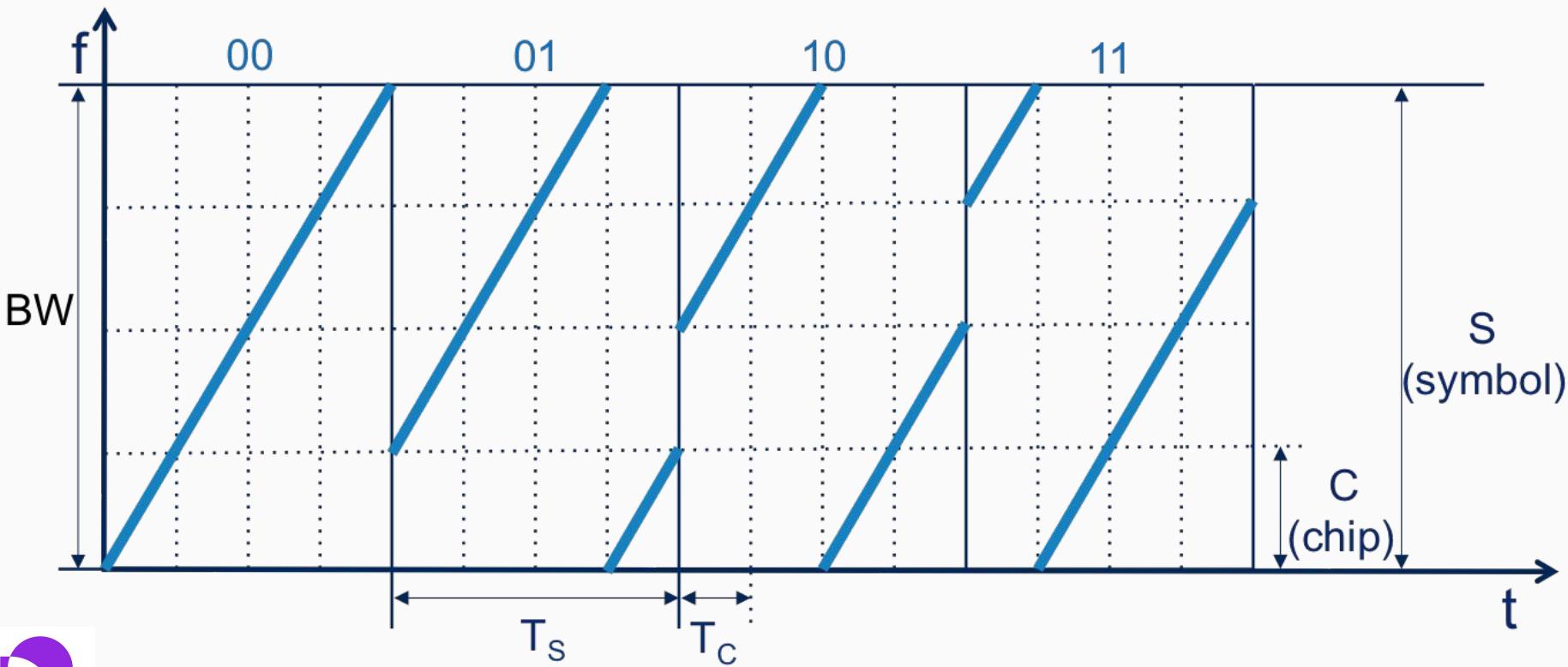
Oparta na technologii rozpraszania widma CSS (*Chirp Spread Spectrum*)

Chirp - sygnał o rosnącej lub malejącej częstotliwości

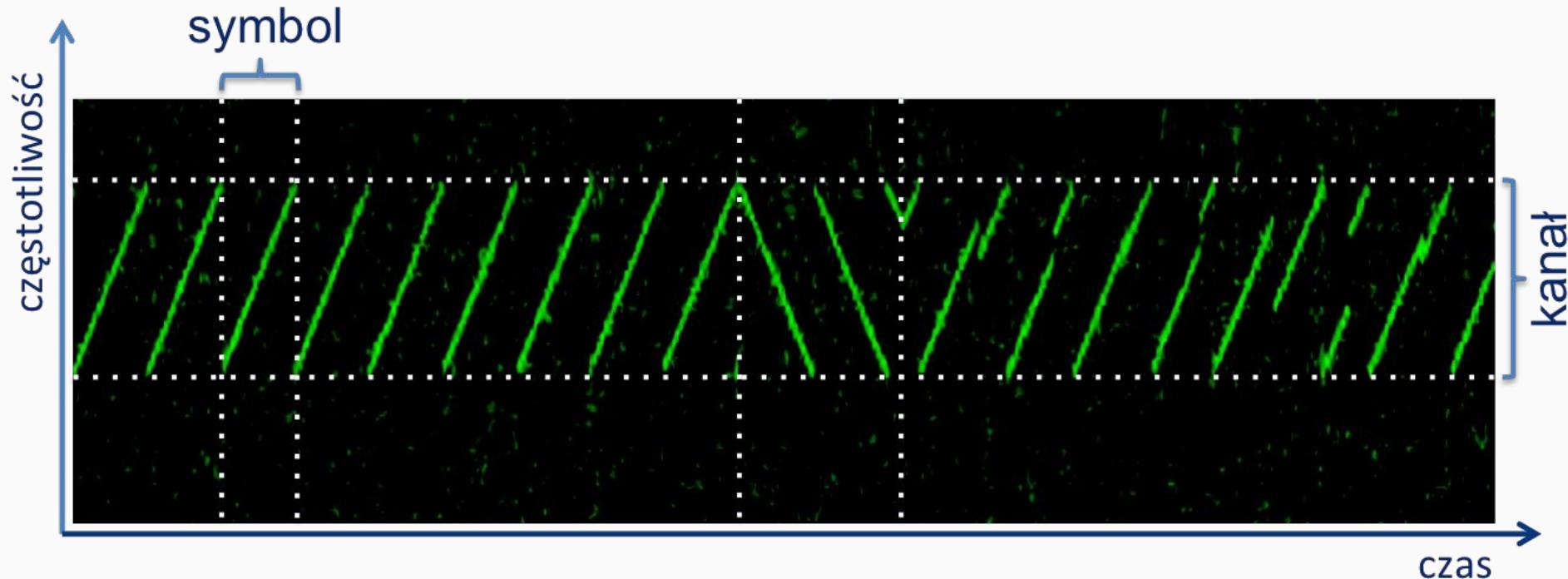


Przykład

- SF2 - 2 bity/symbol
- symbol - sekwencja 4 chipów (2^{SF})

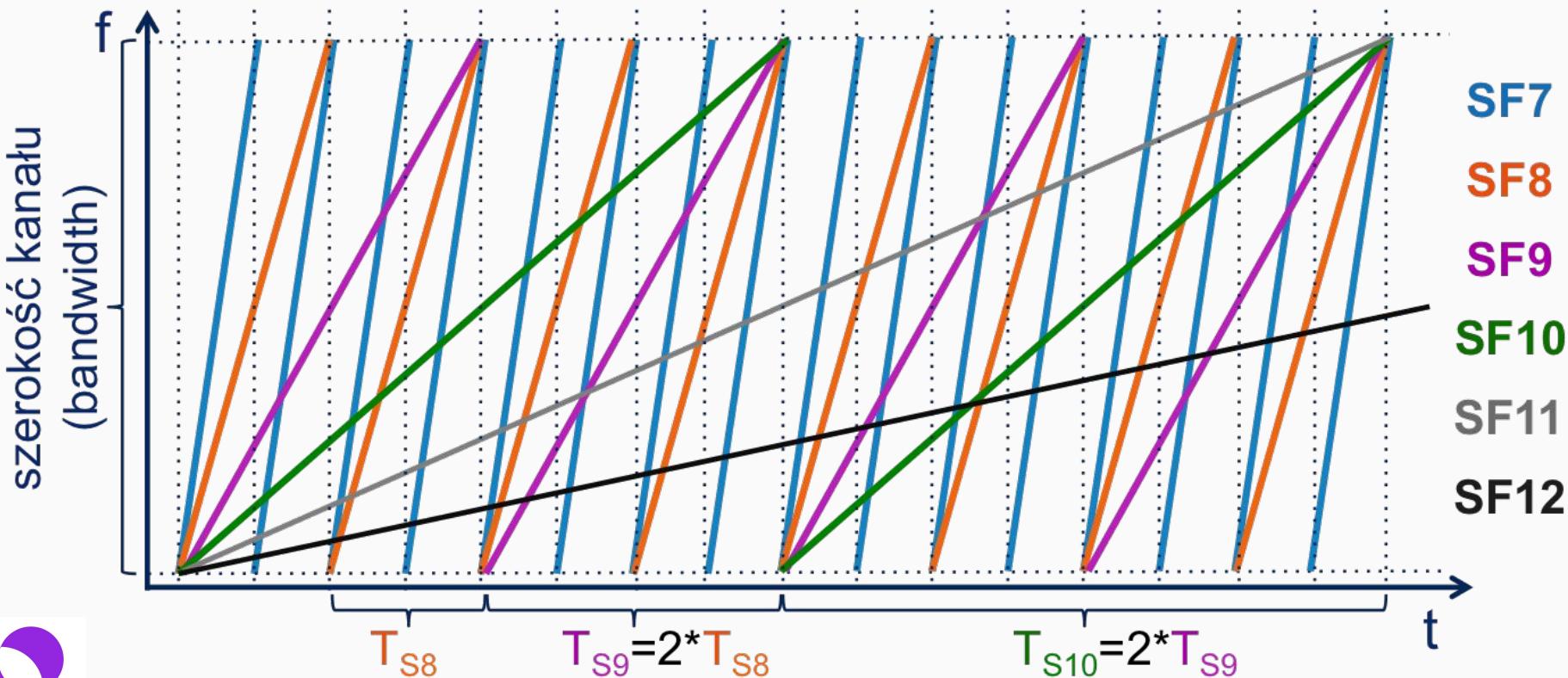


LoRa - modulacja - struktura pakietu

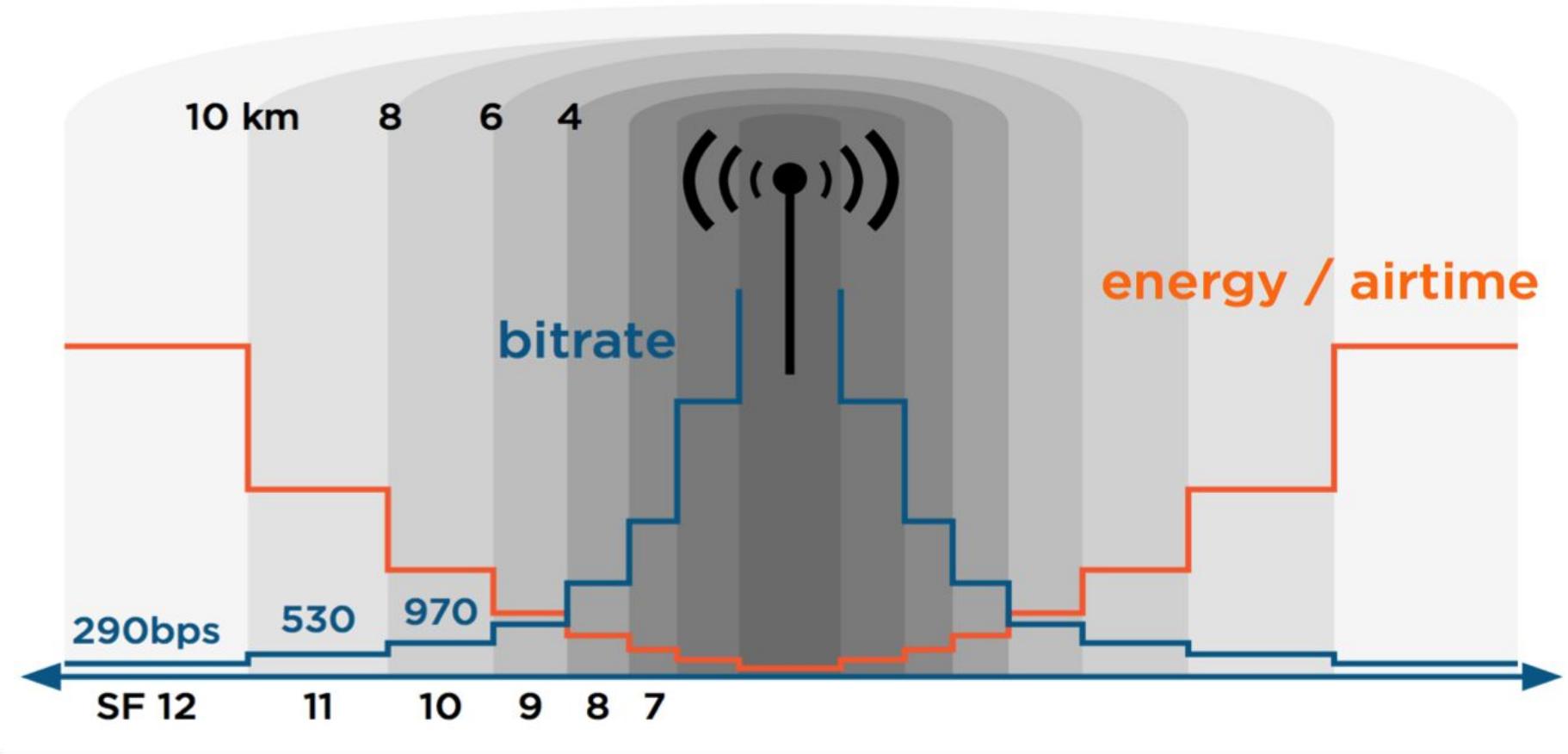


SF (*Spreading Factor*)

- współczynnik rozprzestrzeniania/rozproszenia
- liczba bitów przypadająca na symbol



LoRa - transmisja



LoRa - transmisja c.d.

BW = 125 kHz

CR = 4/5

SF	chip/symbol	DR (bit/s)	Czułość odbiornika (dBm)	Czas transmisji (10 bajtów)
7	128	5468	-123	56 ms
8	256	3125	-126	103 ms
9	512	1757	-129	205 ms
10	1024	976	-132	371 ms
11	2048	537	-135	741 ms
12	4096	292	-137	1483 ms

Układy Semtech SX1272, SX1276, SX1278

- różne zakresy częstotliwości (860...1000 MHz, 137...1020 MHz, 137...525 MHz)
- maksymalny budżet łącza (do 157 dBm lub 168 dBm)
- wysoka czułość (do -137 dBm lub -148 dBm)
- obsługa innych rodzajów modulacji (np. FSK, OOK)
- moc nadajnika do +20 dBm



Znakomity budżet łącza

- duża wydajność przy małej mocy
- odporność na zakłócenia (demodulacja sygnału użytecznego poniżej poziomu szumów)

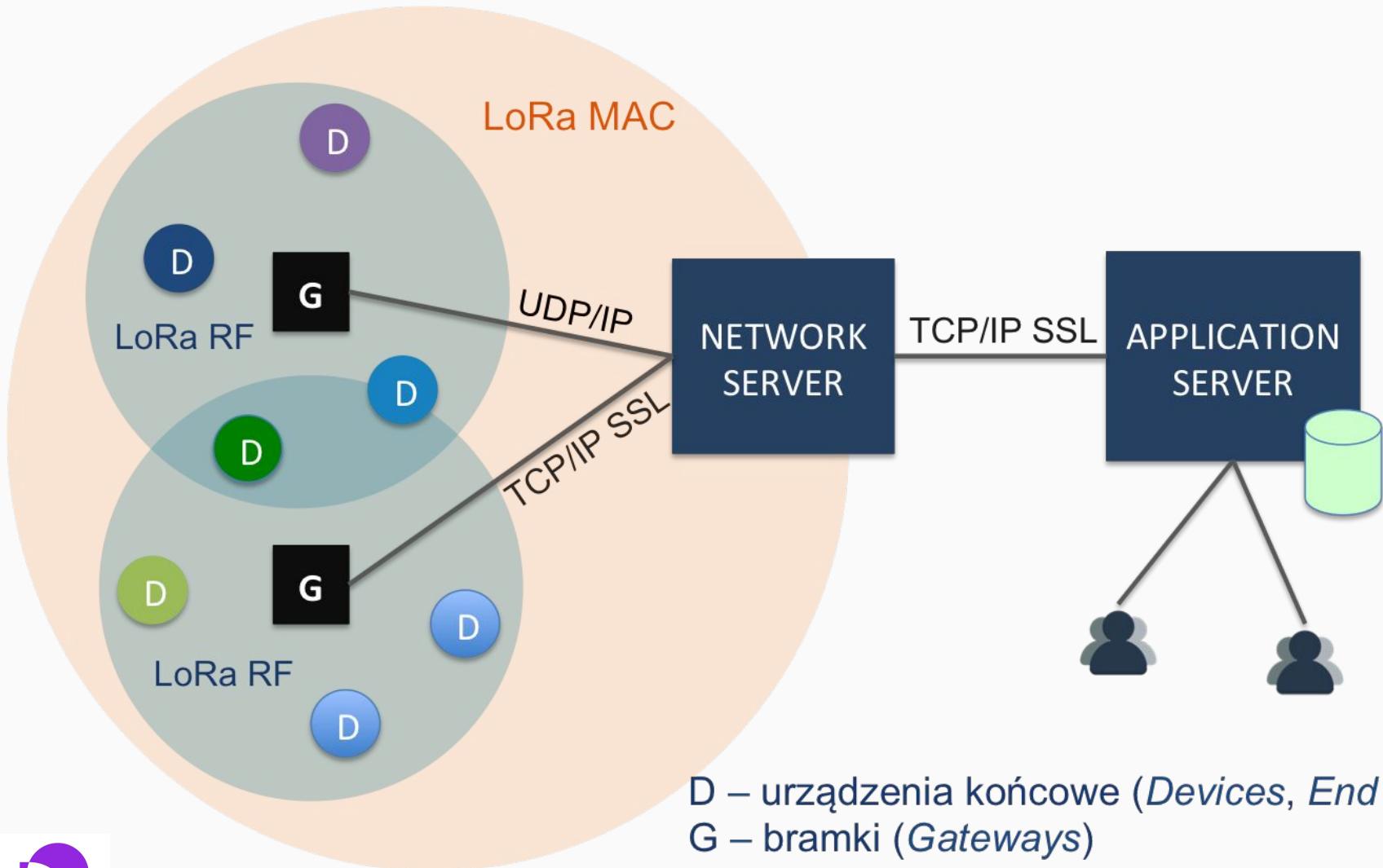
Duża odporność na

- propagację wielodrożną (aplikacje w terenie zabudowanym)
- efekt Dopplera (aplikacje związane z przemieszczaniem)

Duży zasięg transmisji

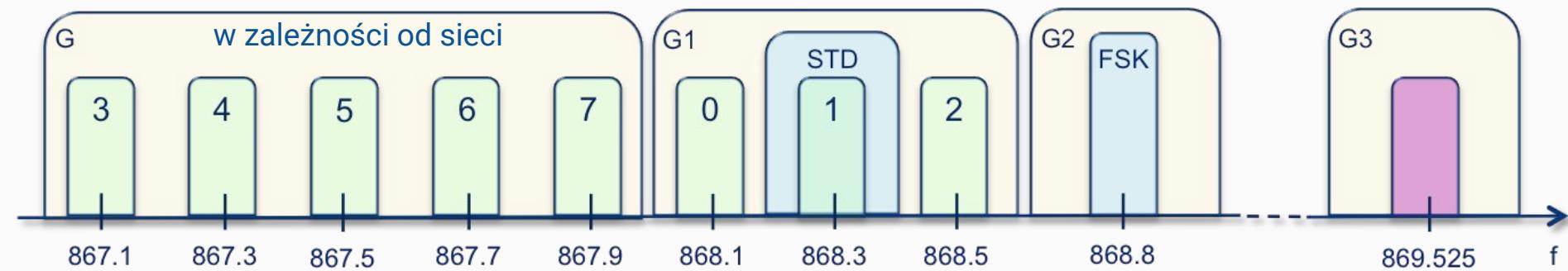
- do kilku kilometrów w terenie zabudowanym
- do kilkunastu kilometrów (lub więcej) w terenie otwartym

LoRaWAN - uproszczona struktura sieci

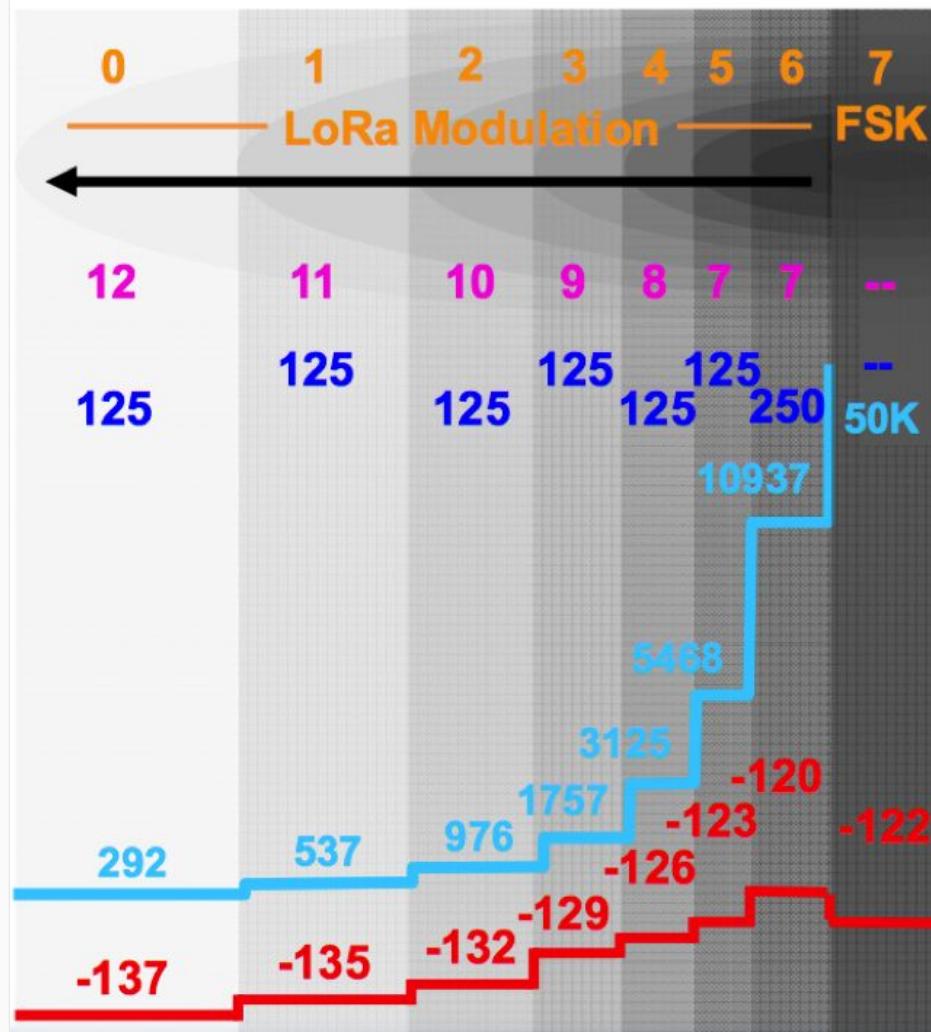


LoRaWAN - podział pasma dla EU (przykład)

Nazwa	Zakres (MHz)	Moc (dBm)	Zajętość (%)
G	867.0 - 868.0	14	1
G1	868.0 - 868.6	14	1
G2	868.7 - 869.2	14	0.1
G3	869.4 - 869.65	27	10
G4	869.7 - 870.0	14	1



LoRa - transmisja



Data Rate (DR)

Range

Spreading Factor (SF)

Bandwidth (BW) (kHz)

Bitrate (BR) (bps)

Receive Sensitivity (dBm)

LoRaWAN - DR (*Data Rate*)

DR	Modulacja	SF	BW (kHz)	bit/s	Maks. liczba bajtów
0	LoRa	12	125	250	51
1	LoRa	11	125	440	51
2	LoRa	10	125	980	51
3	LoRa	9	125	1760	115
4	LoRa	8	125	3125	242
5	LoRa	7	125	5470	242
6	LoRa	7	250	11000	242
7	FSK			50000	

LoRaWAN - klasy urządzeń końcowych

czas pracy na baterii ↑

A

CZUJNIKI ZASILANE BATERYJNIE

- odbiór możliwy tylko po nadaniu wiadomości (dwa krótkie okna odbiorcze)
- klasa obowiązkowa dla wszystkich urządzeń

B

URZĄDZENIA WYK. ZASILANE BATERYJNIE

- komunikacja szczelinowa z synchronizacją (dodatkowe okna odbiorcze w określonych odstępach czasu)

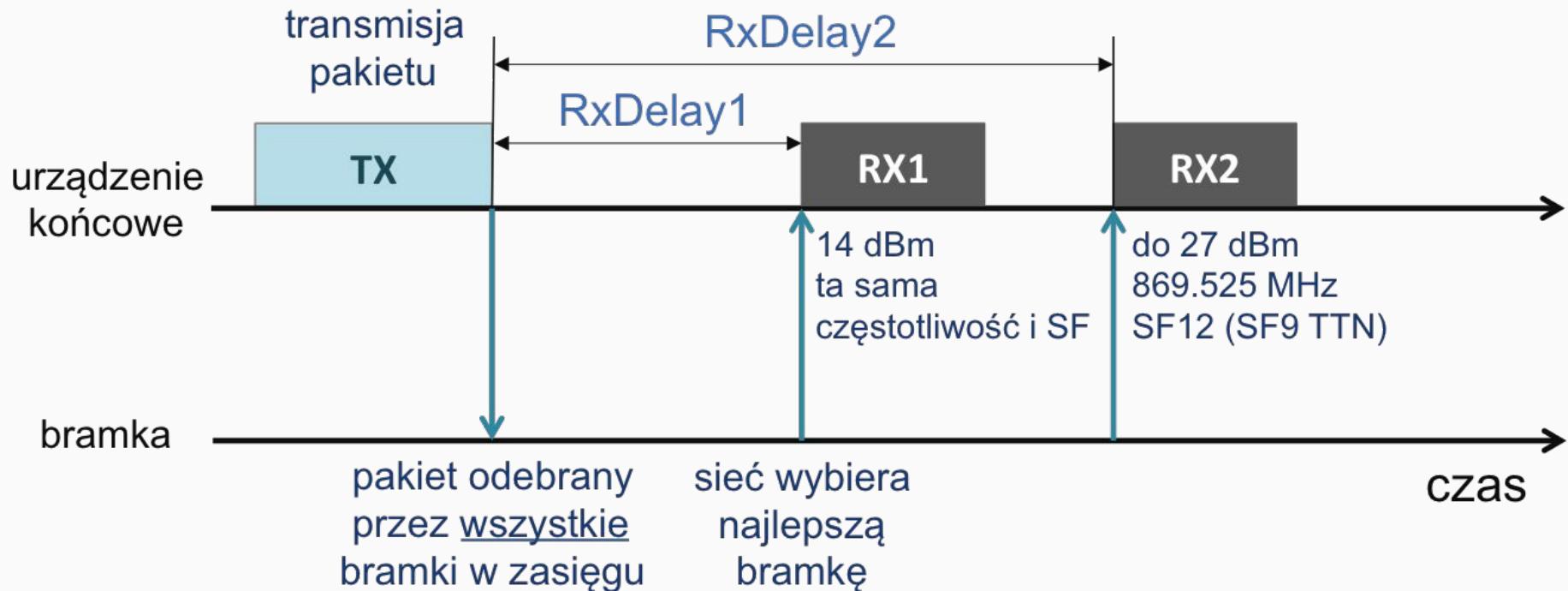
C

URZĄDZENIA WYK. ZASILANE Z SIECI

- duże zużycie energii
- urządzenia praktycznie w ciągłym nasłuchu
- brak opóźnień w komunikacji do urządzenia

opóźnienie w przesyłaniu informacji do urządzenia →

LoRaWAN - klasa A - nadawanie i odbiór



Sposoby realizacji:

- nadajnik-odbiornik z wbudowanym stosem LoRaWAN
 - przykład - Microchip RN2483, Murata CMWX1ZZABZ
 - można skupić się tylko na docelowej funkcjonalności
 - precertyfikacja
 - możliwa implementacja własnego oprogramowania na wbudowanym mikrokontrolerze z wykorzystaniem udostępnionego stosu LoRaWAN
- nadajnik-odbiornik bez stosu LoRaWAN (tylko modulacja)
 - przykład - RFM95W
 - mikrokontroler zewnętrzny musi obsłużyć komunikację LoRaWAN

LoRaWAN - bramki

- Wielokanałowość i multi-SF
- Semtech SX1301 z SX125X
- Minimalne oprogramowanie - tylko do przesyłania pakietów (*Packet Forwarder*)
- Możliwość instalacji dodatkowego oprogramowania



Długość przesyłanych informacji

- wpływ na zajętość kanału (ograniczenie w specyfikacji LoRaWAN)

Częstotliwość wysyłania informacji

- wpływ na zajętość kanału (ograniczenie w zaleceniach ETSI)

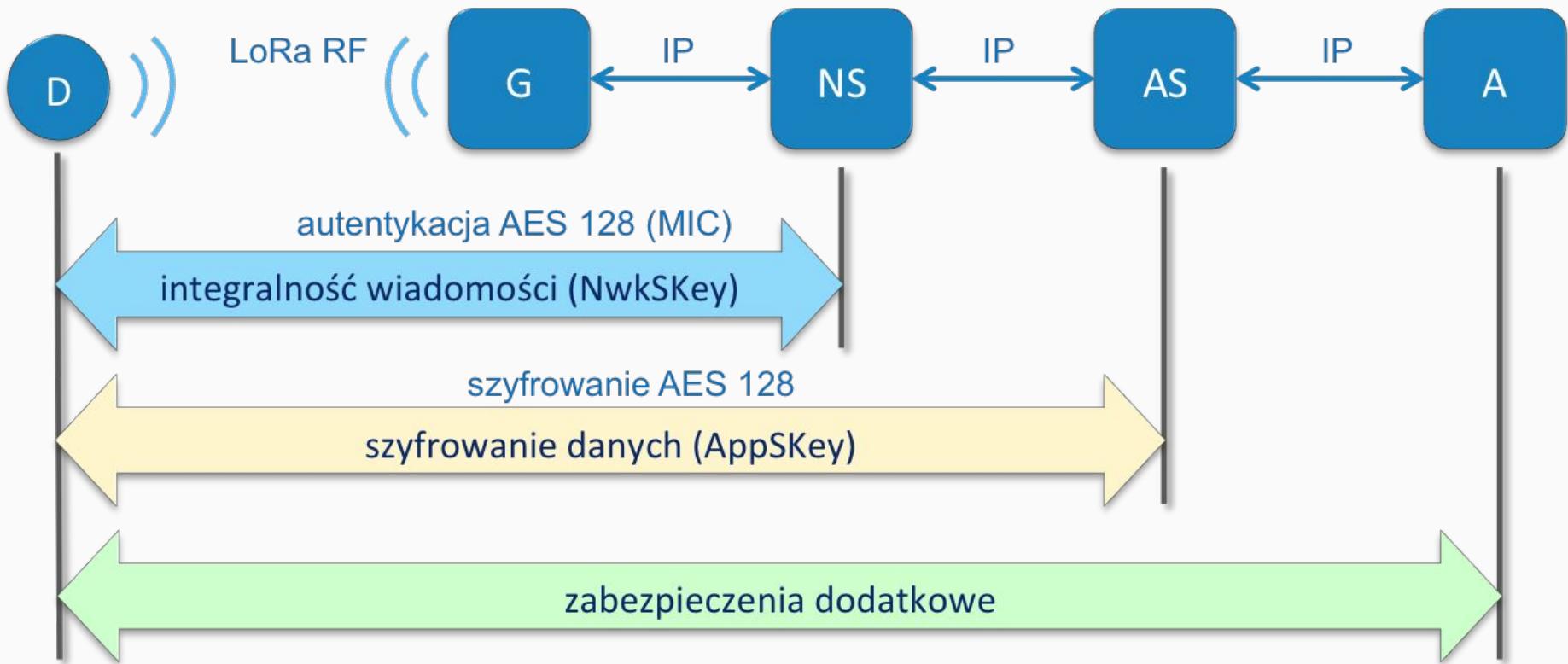
Odległość urządzeń końcowych od bramki

- wpływ na zajętość kanału (zmiana SF → czas transmisji)
- moc nadajnika ograniczona w zaleceniach ETSI

Liczba dostępnych kanałów

- zwiększenie liczby kanałów (ograniczenie w zaleceniach ETSI)
- praca z różnym SF (zmiana SF → czas transmisji)

LoRaWAN - bezpieczeństwo



LoRaWAN - bezpieczeństwo

Dwie warstwy zabezpieczeń

- sieci (*Network Session Key*)
 - uwierzytelnia węzeł w sieci poprzez sprawdzanie integralności wiadomości
- aplikacji (*Application Session Key*)
 - szyfrowanie danych aplikacji
 - warstwa sieci nie ma dostępu do danych aplikacji

Stosowana technologia

- AES 128 (klucze 128 bitów - unikalne dla każdej sesji)
- dane mogą być opcjonalnie zabezpieczone silniejszym algorytmem (*end-to-end*)

Adres urządzenia (*Device Address*)

- unikalny w obrębie sieci - umożliwia wybór prawidłowych kluczy szyfrujących

Sposoby ustalania informacji szyfrujących

- prekonfiguracja urządzenia
- OTA (*Over-The-Air*)

ABP (*Activation By Personalization*)

- *DevAddr*, *NwkSKey* i *AppSKey* są zapisywane w pamięci urządzenia na etapie produkcji
- urządzenie jest przypisane do jednej sieci i gotowe do komunikacji

OTAA (*Over-the-Air Activation*)

- adres urządzenia i klucze sesji są generowane podczas procedury JOIN
- oparta na globalnie unikalnych 64-bitowych identyfikatorach urządzenia (*DevEUI*) i aplikacji (*AppEUI*) oraz klucza uwierzytelniającego (*AppKey*)
- komunikacja nie jest możliwa bez aktywacji
- umożliwia zmianę sieci (*roaming*)

Sieć prywatna

- indywidualnie zarządzana
- dedykowane wdrożenia

Scentralizowana sieć publiczna

- zwykle zarządzana przez operatora telekomunikacyjnego
- duży zasięg geograficzny

Rozproszona/wspólna sieć publiczna

- brak jednego właściciela i punktu kontrolnego
- model internetowy
- najlepszy przykład - TTN (*The Things Network*)

Czym jest TTN?

- Projekt zainicjowany w 2015 w Amsterdamie
- Inicjatywa, której celem jest budowa globalnej sieci dla **Internetu Rzeczy** w oparciu o technologię **LoRaWAN**
- Otwarta, bezpłatna, zdecentralizowana sieć tworzona i utrzymywana przez użytkowników



85537

MEMBERS

8949

GATEWAYS

141

COUNTRIES

Technologia

- budowa i utrzymanie sieci LoRaWAN w mieście i okolicach
- generowanie propozycji rozwiązań wykorzystujących sieć
- tworzenie i aktualizacja mapy zasięgu sieci

Organizacja i edukacja

- pozyskiwanie partnerów i współpraca z nimi
- organizacja spotkań i warsztatów związanych z technologią

Reklama

- prowadzenie blogów i kanałów informacyjnych

Poland

Bydgoszcz ✓

Gdansk

Gdynia

Gliwice

Lodz

Ostrów Wielkopolski

Poznan

Siechnice

Torun ✓

Warsaw

Wrocław ✓

Ograniczenia sieci LoRaWAN

1 - zalecenia ETSI (EN300.220)

- zajętość pasma 1%, moc nadajnika 25 mW (14 dBm)



2 - liczba kanałów obsługiwanych przez bramki

- zwykle 8 kanałów (częstotliwości)

3 - zasady korzystania z otwartej sieci TTN (*Fair Access Policy*)

- czas nadawania przez urządzenie: do 30 sekund na dobę
- przy długości danych 10 bajtów dla urządzenia mamy
 - 20 wiadomości na dobę przy SF12
 - 500 wiadomości na dobę przy SF7
 - maksymalnie 10 wiadomości zwrotnych (*downlink*) na urządzenie na dobę
 - nie można wysyłać wszystkich wiadomości z potwierdzeniem (*confirmed uplink*)



Realizacja komunikacji w sieci TTN



**THE THINGS
N E T W O R K**

Konto użytkownika TTN

Konsola The Things Network

- dodawanie aplikacji i urządzeń
- definiowanie sposobu dekodowania danych
- podgląd danych

<https://account.thethingsnetwork.org/register>

Można później dołączyć do wybranej lokalnej społeczności TTN. Zachęcamy!



CREATE AN ACCOUNT

Create an account for The Things Network and start exploring the world of Internet of Things with us.

USERNAME
This will be your username — pick a good one because you will not be able to change it.

EMAIL ADDRESS
You will receive a confirmation email, as well as occasional account related emails. If this email address is managed by a third party (such as for corporate email addresses), this third party might block emails coming from The Things Network. This email address is not public.

PASSWORD
Use at least 6 characters.

[Create account](#)

By registering an account you agree to our [Terms and Conditions](#) and [Privacy Policy](#).

Tworzenie aplikacji TTN

ADD APPLICATION

Application ID
The unique identifier of your application on the network
unikalna_nazwa_aplikacji

Description
A human readable description of your new app
Eg. My sensor network application

Application EUI
An application EUI will be issued for The Things Network block for convenience, you can add your own in the application settings page.
EUI issued by The Things Network

Handler registration
Select the handler you want to register this application to
ttn-handler-eu

1

Cancel **Add application**

Applications > unikalna_nazwa_aplikacji

2

Overview Devices **Payload Formats** Integrations Data Settings

APPLICATION OVERVIEW

Application ID **unikalna_nazwa_aplikacji**

Description

Created 23 minutes ago

Handler ttn-handler-eu (current handler)

Applications > unikalna_nazwa_aplikacji > Payload Formats

3

Overview Devices **Payload Formats** Integrations Data Settings

PAYOUT FORMATS

Payout Format
The payout format sent by your devices
Cayenne LPP

Cancel **save**

Rejestrowanie urządzenia pod aplikacją TTN

1

DEVICES

register device

manage devices

0 registered devices

2

REGISTER DEVICE

Device ID
unikalna_nazwa_urzadzenia

Device EUI
this field will be generated

App Key
this field will be generated

App EUI
70 B3 D5 7E D0 01 E6 D4

Cancel Register

3

Applications > unikalna_nazwa_aplikacji > Devices > unikalna_nazwa_urzadzenia

Overview Data Settings

DEVICE OVERVIEW

Application ID
unikalna_nazwa_aplikacji

Device ID
unikalna_nazwa_urzadzenia

Activation Method
OTAA

Device EUI
00 6A A9 19 88 41 77 AA

Application EUI
70 B3 D5 7E D0 01 E6 D4

App Key
... (redacted)

Status
never seen

Frames up
0 reset frame counters

Frames down
0

Rejestrowanie urządzenia pod aplikacją TTN c.d.

4

Applications > unikalna_nazwa_aplikacji > Devices > unikalna_nazwa_urzadzenia > Settings

DEVICE SETTINGS	SETTINGS
General	Description A human-readable description of the device
Location	
	Device EUI The serial number of your radio module, similar to a MAC address 00 6A A9 19 88 41 77 AA
	Application EUI 70 B3 D5 7E D0 01 E6 D4
	Activation Method OTAABP OTAABP
	Device Address The device address will be assigned by the network server
	Network Session Key Network Session Key will be generated
	App Session Key App Session Key will be generated
	Frame Counter Width 16 bit 32 bit
	<input type="checkbox"/> Frame Counter Checks Disabling frame counter checks drastically reduces security and should only be used for development purposes

Delete Device Cancel Save

5

DEVICE OVERVIEW

Application ID unikalna_nazwa_aplikacji
Device ID unikalna_nazwa_urzadzenia

Activation Method ABP

Device EUI 00 6A A9 19 88 41 77 AA

Application EUI 70 B3 D5 7E D0 01 E6 D4

Device Address 26 01 13 9C

Network Session Key ...

App Session Key ...

Status never seen

Frames up 0 [reset frame counters](#)

Frames down 0

Platforma do budowy lokalizatora

Sprzęt - moduł LoRa32u4 II

- Atmega32U4 @ 8MHz, 3.3V, 32K FLASH, 2K RAM
- natywna obsługa USB
- zasilanie 3.3..5V, układ ładowania akumulatora Li-Po
- układ Semtech SX1276
- antena 868 MHz ze złączem U.FL

Oprogramowanie:

- Arduino IDE
- plik z definicjami płytki → Arduino/hardware
 - LoRa32u4II z BSFrance
http://bsfrance.fr/documentation/11355_LORA32U4II/BSFrance.zip
- biblioteka zewnętrzna → Arduino/libraries
 - Arduino-LMIC Library
<https://github.com/matthijskooijman/arduino-lmic>

Programowanie urządzenia - komunikacja z SX1276

Device Address: 26 01 13 9C

Network Session Key: msb { 0xD8, 0xF4, 0x1F, 0xF5, 0x06, 0x5E, 0x3A, 0x3A, 0x01, 0x78, 0x65, 0x23, 0x9C, { ... } }

App Session Key: msb { 0x6F, 0x2A, 0xCA, 0xCA, 0x9D, 0xDB, 0xFE, 0x3D, 0xDD, 0x89, 0x0B, 0xF1, 0xF6, { ... } }

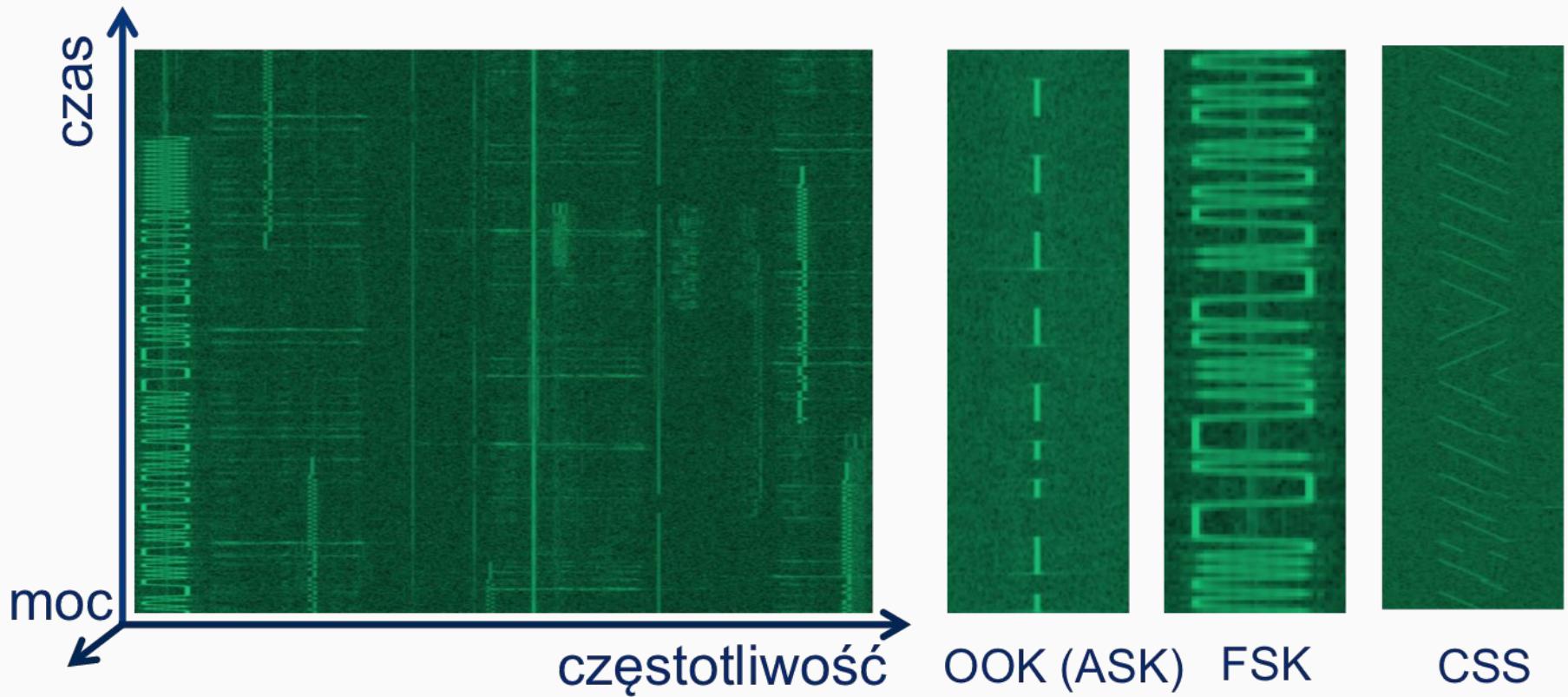
```
static const u1_t PROGMEM NWKSKEY[16] = { 0xD8, 0xF4, 0x1F, 0xF5, 0x06, ... };
static const u1_t PROGMEM APPSKEY[16] = { 0x6F, 0x2A, 0xCA, 0xCA, 0x9D, ... };
static const u4_t DEVADDR = 0x2601139C;
```

```
const lmic_pinmap lmic_pins = {
    .nss = 8,
    .rxtx = LMIC_UNUSED_PIN,
    .rst = 4,
    .dio = { 7, 6, LMIC_UNUSED_PIN },
};
```

Obserwacja pasma



Spektrogram

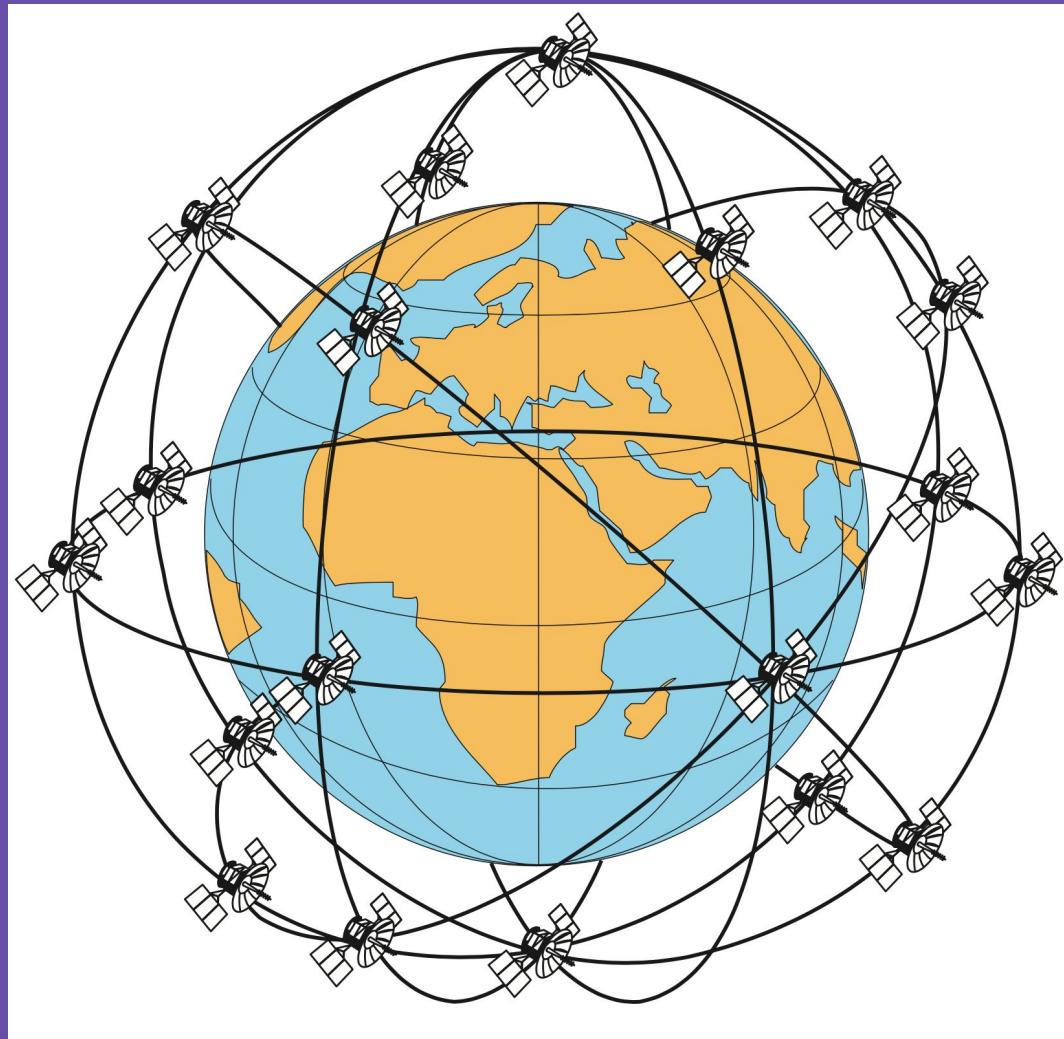


Przygotowanie urządzenia i obserwacja transmisji

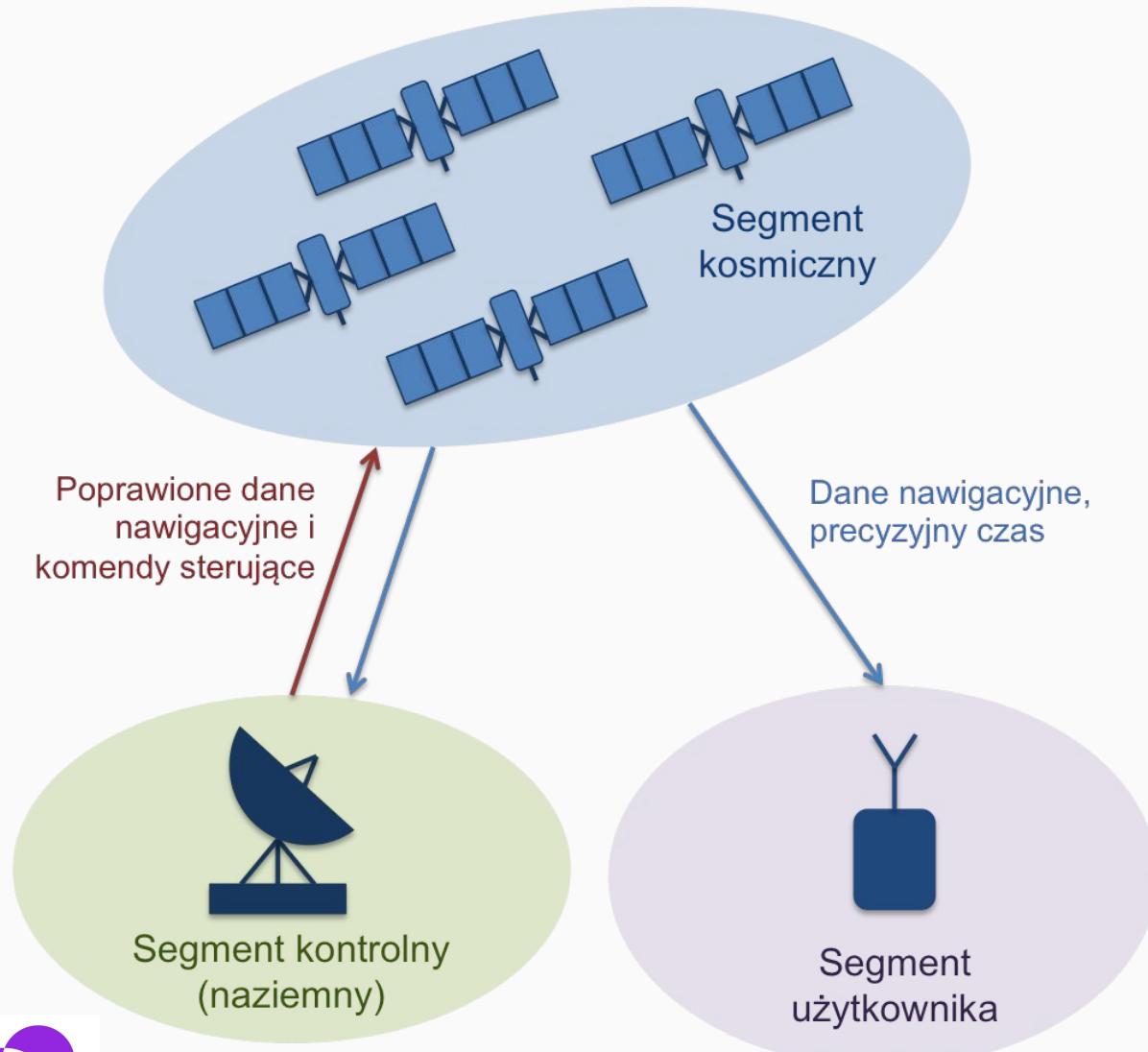
- wykorzystanie kanałów
- procedura JOIN
- zmiana współczynnika rozproszenia
- zmiana mocy nadawanego sygnału

```
...
const unsigned TX_INTERVAL = 60;
...
LMIC_setDrTxpow(DR_SF7, 14);
...
```

Systemy nawigacji satelitarnej



System nawigacji satelitarnej - GNSS (*Global Navigation Satellite System*)



Systemy GNSS:

- NAVSTAR (GPS)
- GLONASS
- Galileo
- COMPASS

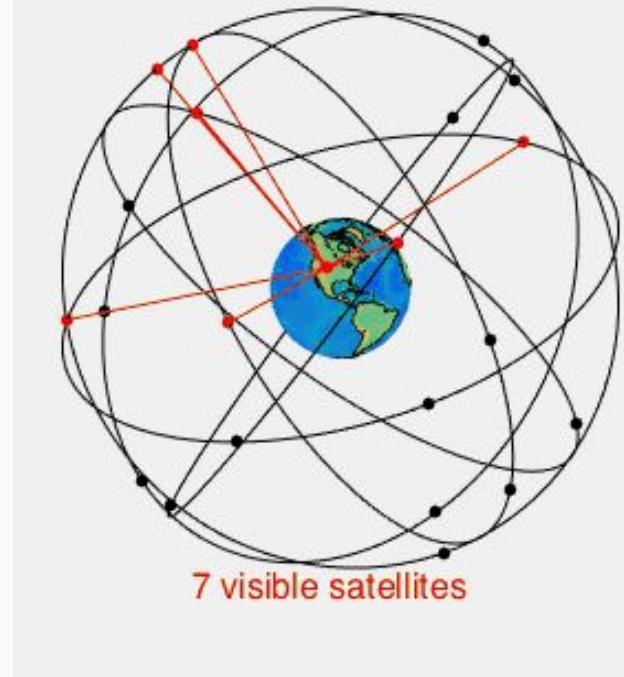
Dwie wersje systemu GPS:

- PPS (Precise Positioning System)
- SPS (Standard Positioning System)

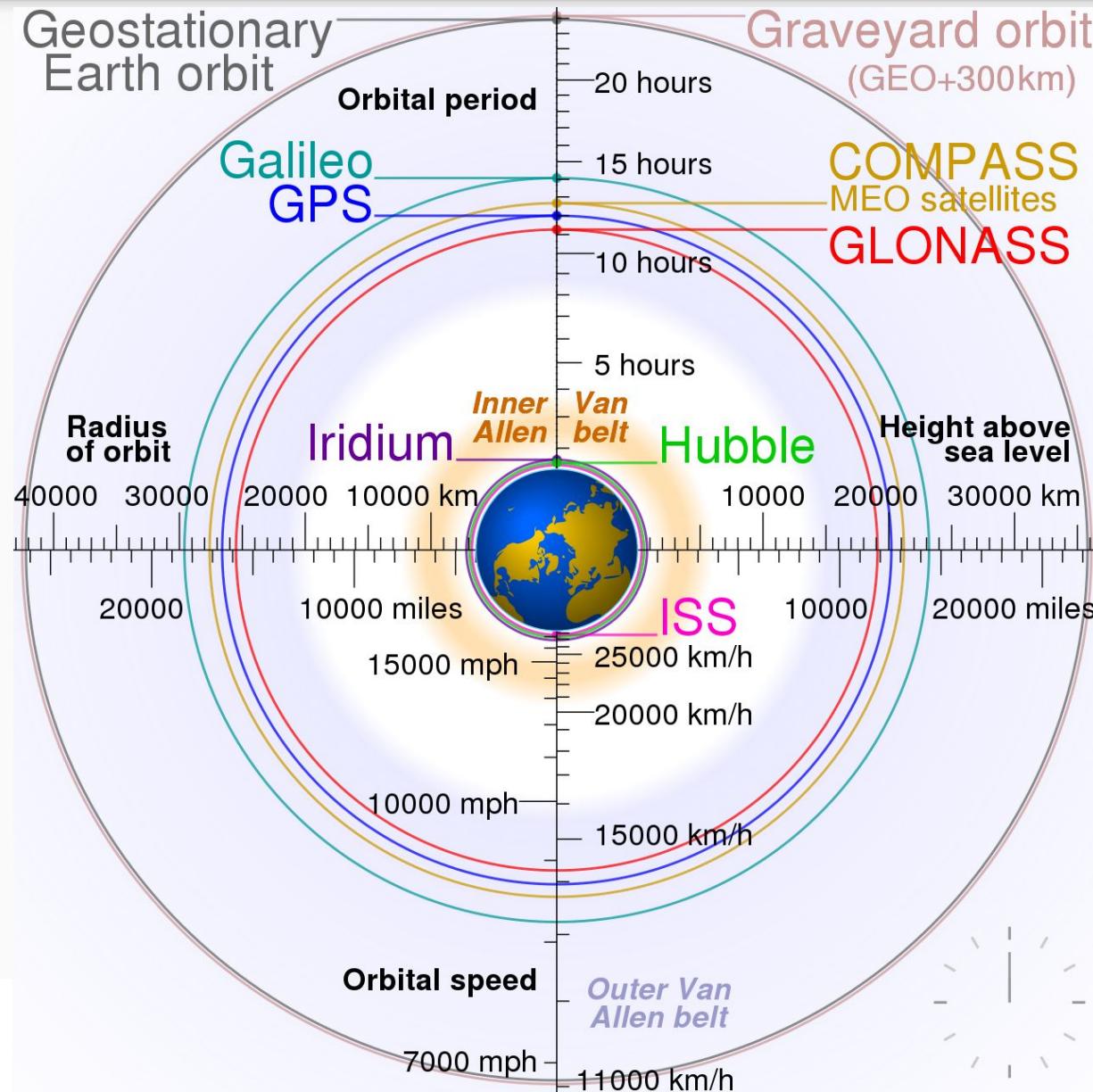
Segment kosmiczny

Zespół satelitów (na przykładzie systemu GPS)

- liczba i sposób rozmieszczenia zapewniają stałą widoczność na powierzchni Ziemi przynajmniej 4-5 satelitów (typowo 7-8, maksymalnie 12)
- transmisja na dwóch częstotliwościach nośnych
 - L1 (1575,42 MHz) - odbierany przez SPS i PPS
 - L2 (1227,6 MHz) - odbierany przez PPS
 - możliwość korekcji błędów jonosferycznych
- odseparowanie sygnałów - każdy satelita nadaje sygnał stosując inny ciąg rozpraszający PRN (*Pseudo random Noise*) - technika CDMA (*Code Division Multiple Access*)
- sygnały (depesze nawigacyjne) zawierają informacje, od którego satelity pochodzą i kiedy zostały nadane, przesyłana jest także poprawka ich aktualnej pozycji obliczona przez naziemne stacje kontrolne



Porównanie systemów nawigacji satelitarnej - segment kosmiczny



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b4/Comparison_satellite_navigation_orbits.svg

Segment kontrolny (naziemny)

Stacje monitorujące

- posiadają zegary atomowe i wysokiej klasy odbiorniki
- na podstawie odbieranych sygnałów w pasmach nawigacyjnych kontrolują stan techniczny satelitów, ich pozycję i parametry ruchu
- przesyłają dane do głównej stacji kontrolnej

Główna stacja kontrolna

- oblicza parametry orbit satelitów, błędy zegarów, opóźnienie propagacji sygnału w jonosferze
- określa, czy dany satelita pracuje prawidłowo
- opracowuje dane dla satelitów

Stacje nadawcze

- przesyłają do satelitów dane nawigacyjne i komendy sterujące (korekcja zegarów atomowych, zmiana oprogramowania, skorygowanie trajektorii lub zmiana położenia)

Segment użytkownika

Moduły GNSS (odbiorniki) odbierają sygnały z satelitów (depesze nawigacyjne z informacjami o układzie satelitów na niebie, ich orbitach i odchyleniach) i znając teoretyczne pozycje satelitów, mogą:

- wyznaczyć rzeczywiste pozycje satelitów w danym momencie czasu
- obliczyć odległości odbiornik-satelita na podstawie czasu transmisji sygnału
- wyznaczyć swoją pozycję

Szczegółowy algorytm obliczeniowy oparty jest na technice multilateracji:

- pozycję wyznacza się jako punkt przecięcia sfer, których liczba odpowiada liczbie śledzonych przez odbiornik satelitów
- środek każdej sfery znajduje się w miejscu położenia danego satelity, a promień sfery jest równy odległości od satelity
- odbiornik podaje wyznaczoną pozycję w wybranym układzie odniesienia, a także aktualny czas z dużą dokładnością

Czułość odbiornika i obsługa różnych systemów GNSS

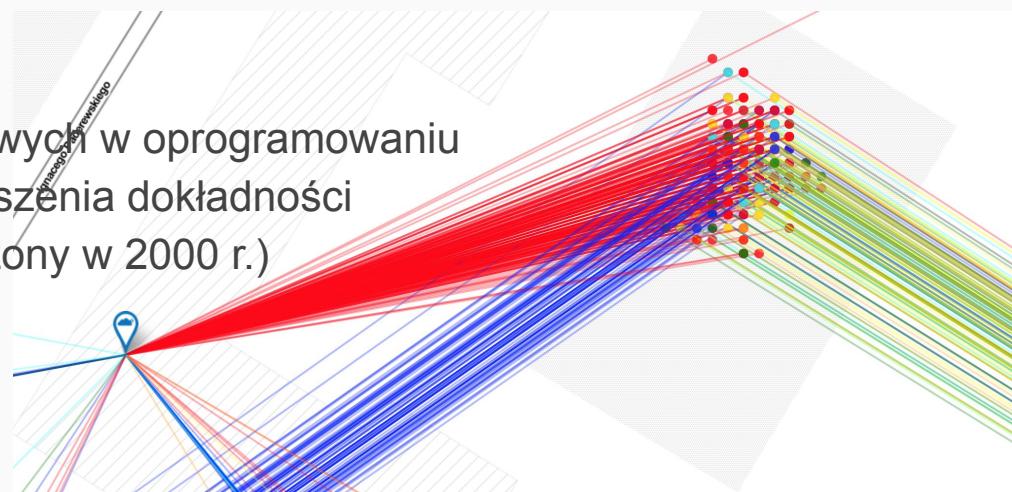
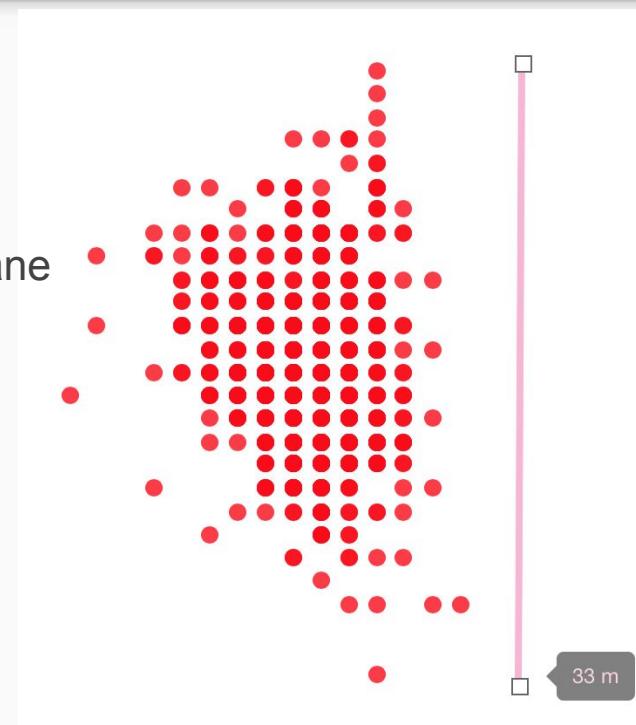
Źródła błędów w wyznaczaniu pozycji odbiornika

Błędy naturalne

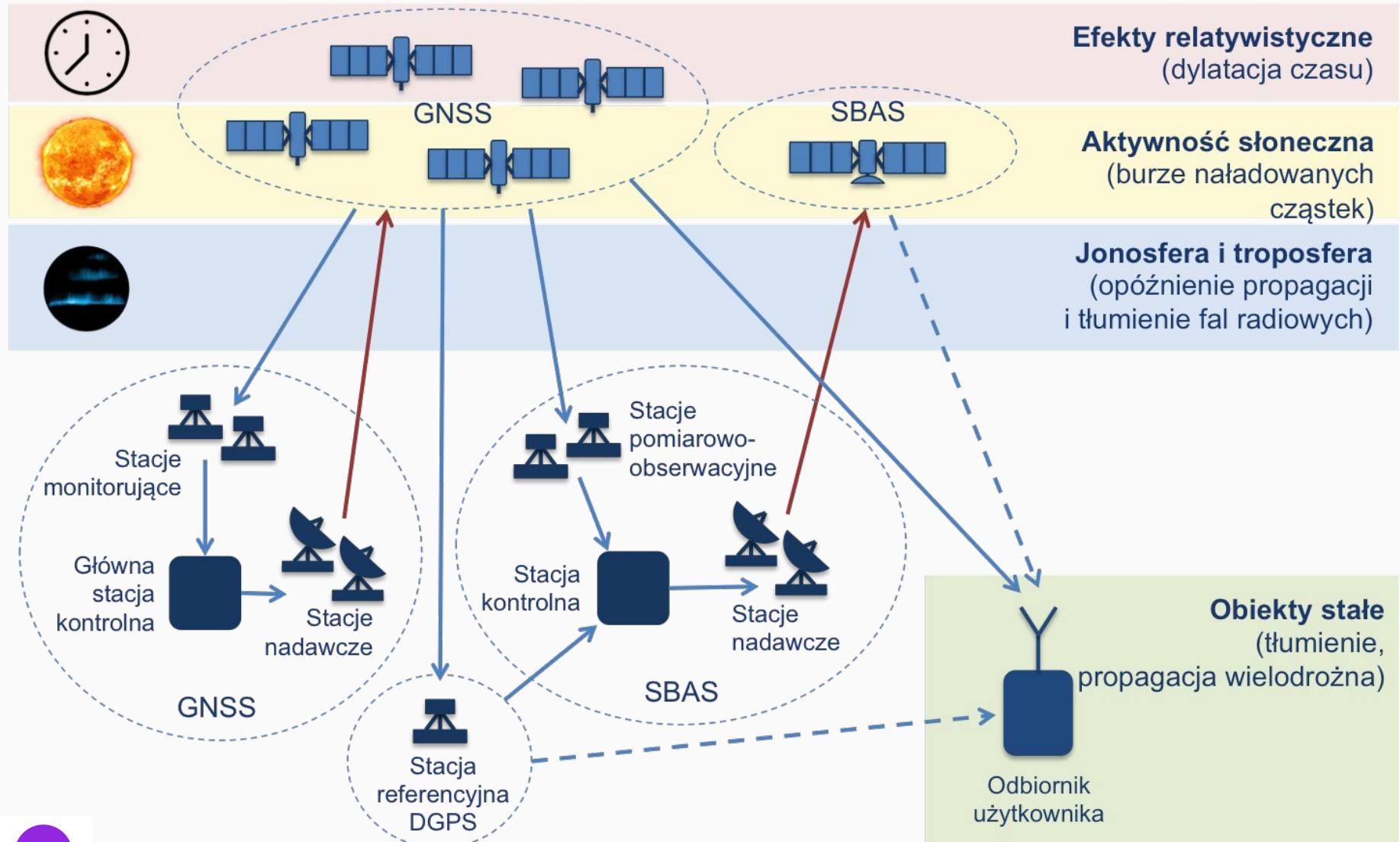
- opóźnienia w propagacji fal radiowych przy przejściu przez jonasferę - podstawowa przyczyna błędów
- opóźnienia w propagacji fal radiowych w troposferze związane ze zmianami warunków atmosferycznych

Błędy sztuczne

- błąd efemeryd - różnica między teoretyczną a rzeczywistą pozycją satelitów
- niedokładność zegara satelity
- odbiór sygnałów odbitych
- błędy odbiornika
 - szумy zakłócające transmisję
 - niedokładność procedur obliczeniowych w oprogramowaniu
- zaburzenia wprowadzane w celu zmniejszenia dokładności (przykład - *Selective Availability* - wyłączony w 2000 r.)



Poprawki różnicowe i systemy uzupełniające



DGPS (*Differential GPS*), SBAS (*Space Based Augmentation System*)

Sposoby komunikacji z modułami GNSS

Stosowane interfejsy:

- port szeregowy (UART)
- I2C

Protokoły

- tekstowy - protokół NMEA-0183
 - opracowany przez *National Marine Electronics Association*
 - zaimplementowany praktycznie we wszystkich odbiornikach GNSS
 - przykład - ramka GGA

§GPGGA,181129.00,5307.18494,N,01759.44889,E,1,08,1.09,98.7,M,35.9,M,,*65

- binarny
 - zależny od producenta układu, na którym bazuje odbiornik GNSS
- możliwość parametryzacji sposobu komunikacji

Realizacja komunikacji z modułem GNSS

Budowa lokalizatora - komponenty

Sprzęt:

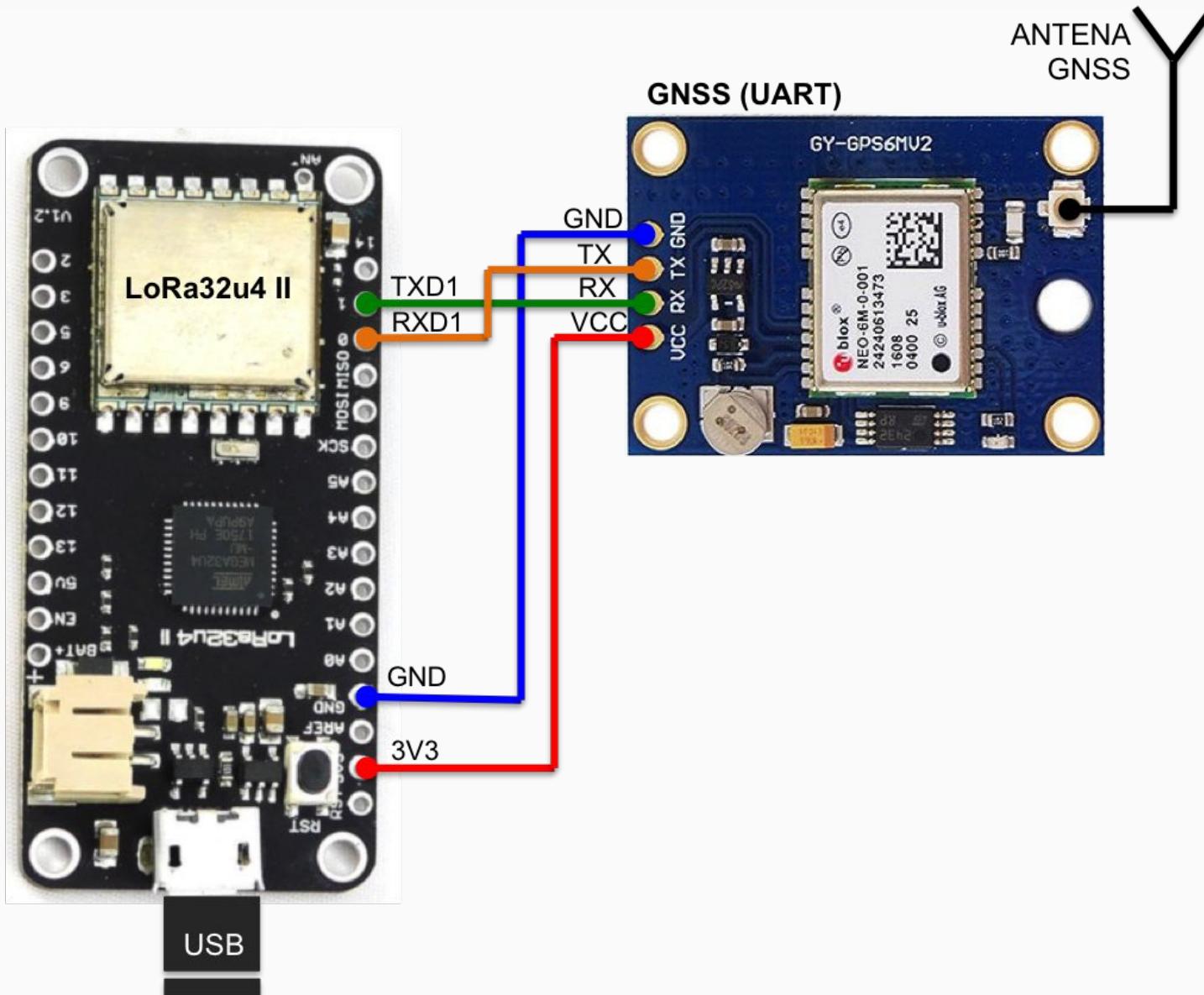
- moduł LoRa32u4 II
- **odbiornik GPS z interfejsem UART i anteną**

Dodatkowe oprogramowanie:

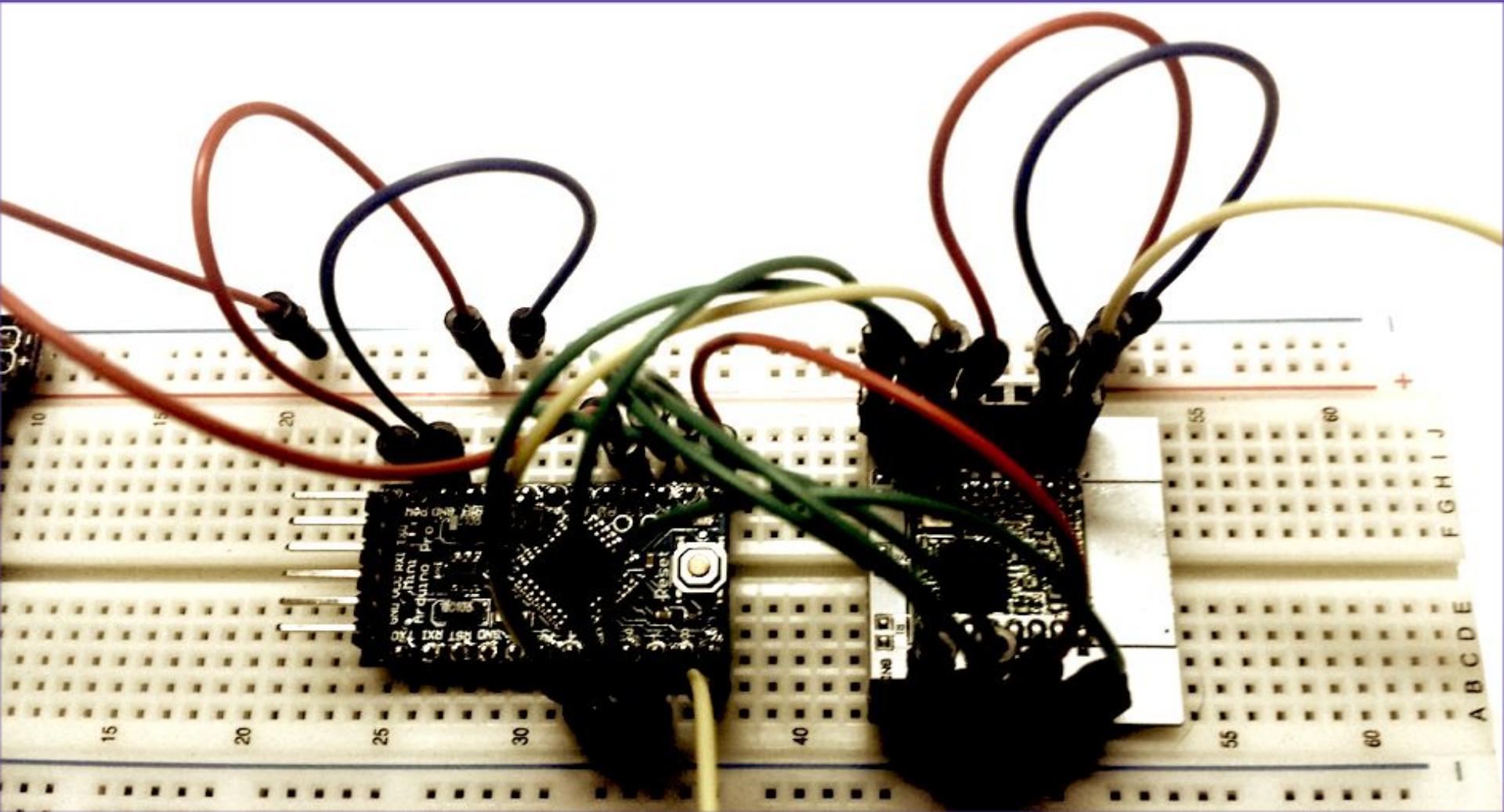
- biblioteka zewnętrzna → Arduino/libraries
 - TinyGPSPlus - NMEA Parsing Library

<https://github.com/mikalhart/TinyGPSPlus>

Sposób połączenia komponentów



Budujemy lokalizator



Budowa lokalizatora - założenia

- Wysyłanie bieżącej lokalizacji (współrzędne geograficzne i wysokość nad poziomem morza) ze stałym interwałem
- Komunikacja LoRaWAN
- Zasilanie z USB i/lub baterijne



Dodatkowo wysyłane będą informacje określające jakość pomiaru pozycji:

- HDOP (*Horizontal Dilution Of Precision*)
- liczba śledzonych satelitów

Sprzęt:

- moduł LoRa32u4 II
- odbiornik GPS z interfejsem UART i anteną
- **akumulator Li-Po 3.7V**

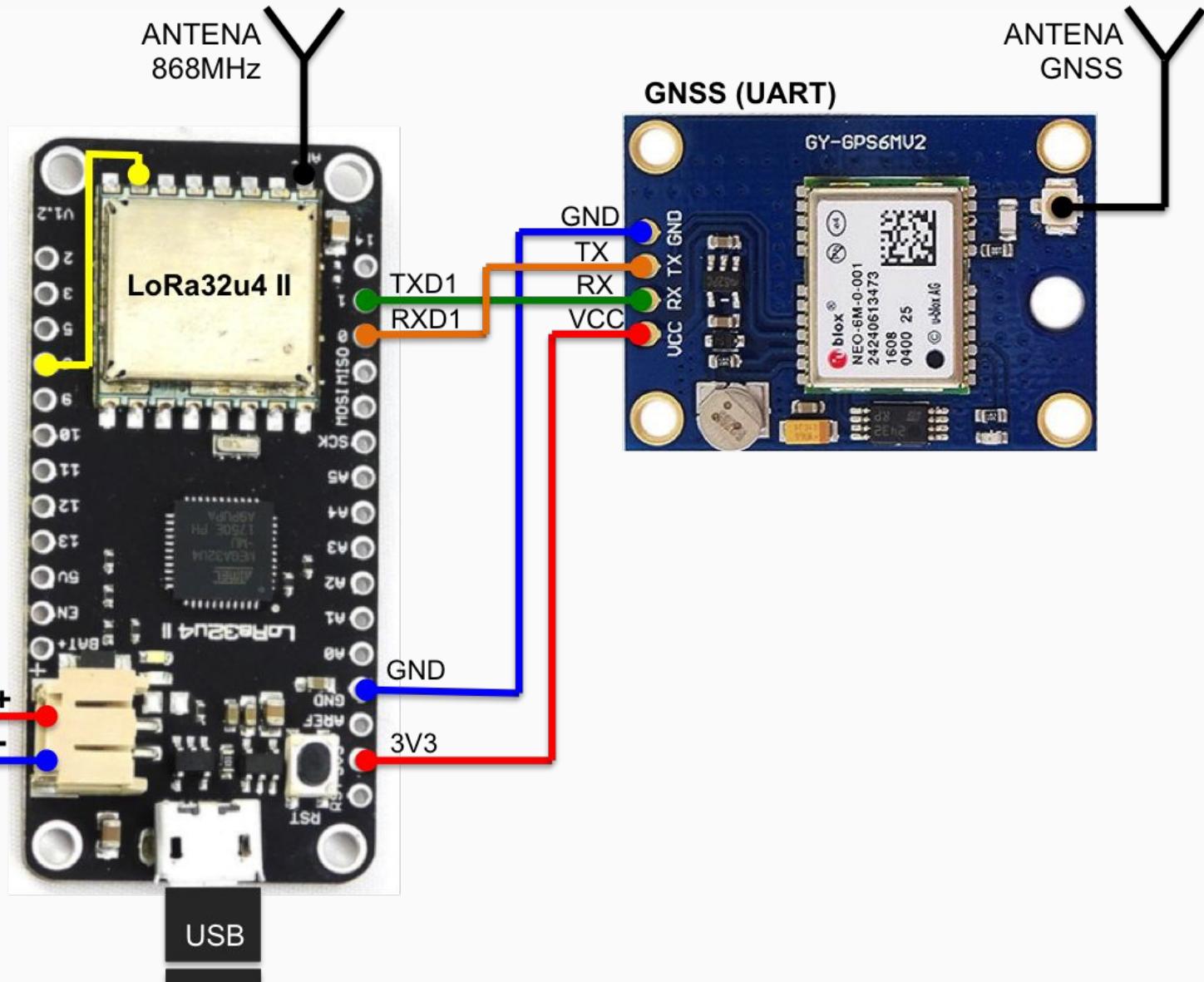
Dodatkowe oprogramowanie:

- biblioteka zewnętrzna → Arduino/libraries
 - The Things Network Arduino Library (tylko Cayenne LPP)
<https://github.com/TheThingsNetwork/arduino-device-lib>

Sposób połączenia komponentów



AKUMULATOR
Li-Pol
3.7V



Programowanie urządzenia - wykorzystanie Cayenne LPP

```
#include <CayenneLPP.h>
CayenneLPP lpp(51);
...
lpp.reset();
lpp.addGPS(1, gps.location.lat(), gps.location.lng(), gps.altitude.meters());
lpp.addAnalogInput(2, (float)gps.satellites.value());
lpp.addAnalogInput(3, gps.hdop.hdop());
...
LMIC_setTxData2(2, lpp.getBuffer(), lpp.getSize(), 0);
```

PAYLOAD FORMATS

Payload Format

The payload format sent by your devices

Cayenne LPP

Custom

Cayenne LPP

- Bardzo łatwy sposób przygotowania i przesyłania danych
- Odbierane dane są dekodowane automatycznie po stronie aplikacji

```
{
  "analog_in_2": 11,
  "analog_in_3": 0.88,
  "gps_1": {
    "altitude": 76.19,
    "latitude": 53.1581,
    "longitude": 18.2246
  }
}
```

Programowanie urządzenia - zrzucanie zbędnych kilobajtów

Error compiling for board LoRa32u4II (868-915MHz).
Sketch uses 32426 bytes (113%) of program storage space. Maximum is 28672 bytes.
Global variables use 1489 bytes of dynamic memory.
Sketch too big; see <http://www.arduino.cc/en/Guide/Troubleshooting#size> for tips on reducing it.
Error compiling for board LoRa32u4II (868-915MHz).

14 LoRa32u4II (868-915MHz) on /dev/cu.usbmodem1411

arduino-lmic/src/lmic/config.h

```
...
// Uncomment this to disable all code related to joining
#defineDISABLE_JOIN
// Uncomment this to disable all code related to ping
#defineDISABLE_PING
// Uncomment this to disable all code related to beacon tracking.
// Requires ping to be disabled too
#defineDISABLE_BEACONS
...
```

Done compiling.

Sketch uses 27458 bytes (95%) of program storage space. Maximum is 28672 bytes.
Global variables use 1438 bytes of dynamic memory.

18 LoRa32u4II (868-915MHz) on /dev/cu.usbmodem1411

Programowanie urządzenia - własny sposób kodowania

```
...
uint8_t data[10];

...
while (Serial1.available() > 0)
    gps.encode(Serial1.read());

...
uint32_t latitude = ((gps.location.lat() + 90) / 180.0) * 16777215;
uint32_t longitude = ((gps.location.lng() + 180) / 360.0) * 16777215;
uint16_t altitude = gps.altitude.meters();
uint8_t hdev = gps.hdop.hdop() * 10;
data[0] = latitude >> 16;
data[1] = latitude >> 8;
data[2] = latitude;
data[3] = longitude >> 16;
data[4] = longitude >> 8;
data[5] = longitude;
data[6] = altitude >> 8;
data[7] = altitude;
data[8] = hdev;
data[9] = gps.satellites.value();

...
```

Programowanie urządzenia - własny dekoder

PAYLOAD FORMATS

Payload Format

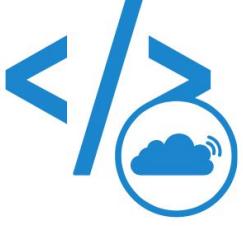
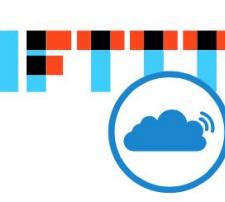
The payload format sent by your devices

Custom

```
function Decoder(bytes, port) {
    var decoded = {};
    decoded.lat = ((bytes[0]<<16)>>>0) + ((bytes[1]<<8)>>>0) + bytes[2];
    decoded.lat = (decoded.lat / 16777215.0 * 180) - 90;
    decoded.lon = ((bytes[3]<<16)>>>0) + ((bytes[4]<<8)>>>0) + bytes[5];
    decoded.lon = (decoded.lon / 16777215.0 * 360) - 180;
    var alt = ((bytes[6]<<8)>>>0) + bytes[7];
    var sign = bytes[6] & (1 << 7);
    if(sign) {
        decoded.altitude = 0xFFFF0000 | alt;
    } else {
        decoded.altitude = alt;
    }
    decoded.hdop = bytes[8] / 10.0;
    decoded.sats = bytes[9];
    return decoded;
}
```

```
{
    "alt": 73,
    "hdop": 0.8,
    "lat": 53.15814037073494,
    "lon": 18.224677933733346,
    "sats": 11
}
```

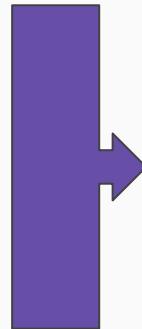
Przegląd sposobów integracji z TTN

					
AllThingsTalk Maker v2.6.0 AllThingsTalk	Collos v2.7.10 Semtech Corporation	Data Storage v2.0.1 The Things Industries B.V.	MyDevices v2.6.0 myDevices	OpenSensors v2.6.0 The Things Industries B.V.	TTN Mapper v2.7.1 JP Meijers
					
EVRYTHNG v2.6.0 EVRYTHNG	HTTP Integration v2.6.0 The Things Industries B.V.	IFTTT Maker v2.6.0 The Things Industries B.V.	TagoIO v2.7.5 TagoIO	ThingSpeak v2.7.14 MathWorks®	ubidots

Interfejsy wymiany danych z TTN

Interfejsy programistyczne:

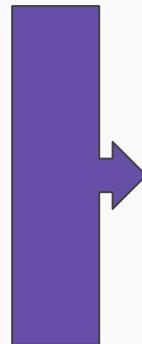
- ApplicationManager API, Data API
- MQTT
 - MQTT client library for Java, JavaScript, Python, itd.
 - MQTT Dash for Android, MQTTTool for iOS
- DataStorage (REST API danych i urządzeń)
- HTTP Integration (webhooks)
- TTN SDK for: GO, Java, Node-RED, Node.js, Python



Jeżeli chcesz zbudować własne rozwiązanie w oparciu o dane.

Integracje z serwisami usługowymi:

- AWS IoT - infrastruktura oraz serwisy do budowy własnych rozwiązań
- AllThingsTalk - platforma developerska (od SDK dla urządzeń do API usług platformy)
- Collos - servisy lokalizacyjne
- OpenSensors - 'Twitter for Sensors'
- IFTT Maker

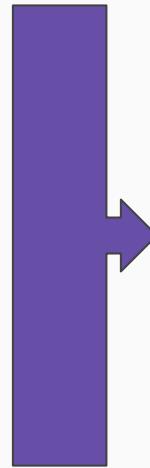


Potrzebujesz wybranych serwisów bezpośrednio lub do ich wykorzystania we własnym rozwiążaniu.

Przykłady platform zintegrowanych z TTN

Integracje z platformami IoT:

- myDevices Cayenne
- Tago
- ThingSpeak (analityka, integracja z MATLAB)
- EVRYTHNG (ukierunkowane na e-Commerce)
- TTN Mapper
- Platformy korzystające z HTTP Integration
 - Ubidots
 - thethings.io
 - **Signomix**



Otrzymujesz funkcjonalność udostępnianą przez daną platformę

TTN Mapper

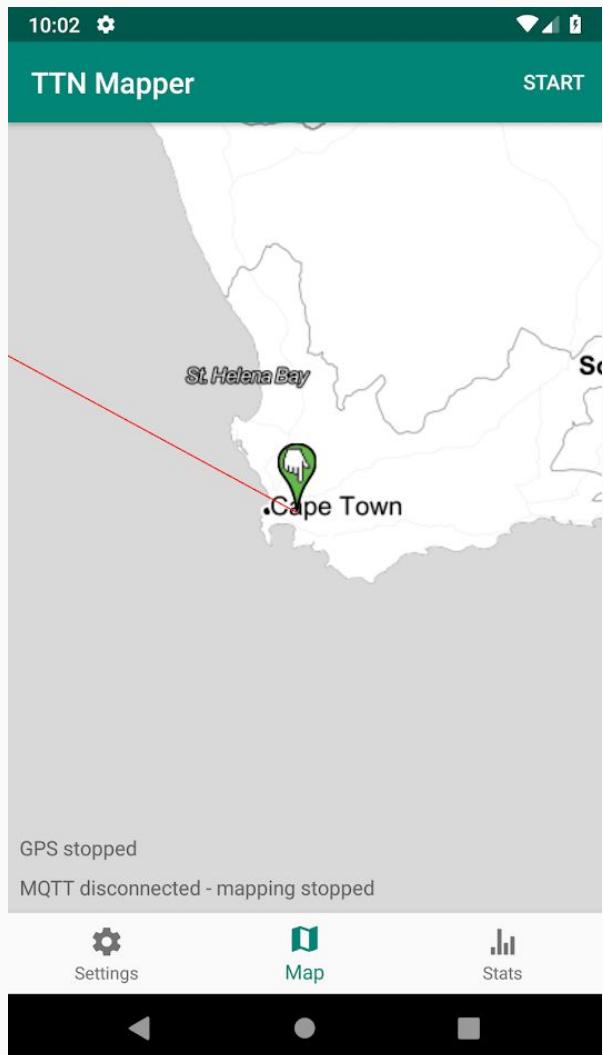
TTN Mapper jest systemem zbudowanym w celu tworzenia i udostępniania aktualnych map zasięgu bramek TTN.

Oprogramowanie jest dostępne jako Open Source, a dzięki zaangażowaniu społeczności TTN mamy dostęp do map zasięgu na całym świecie.

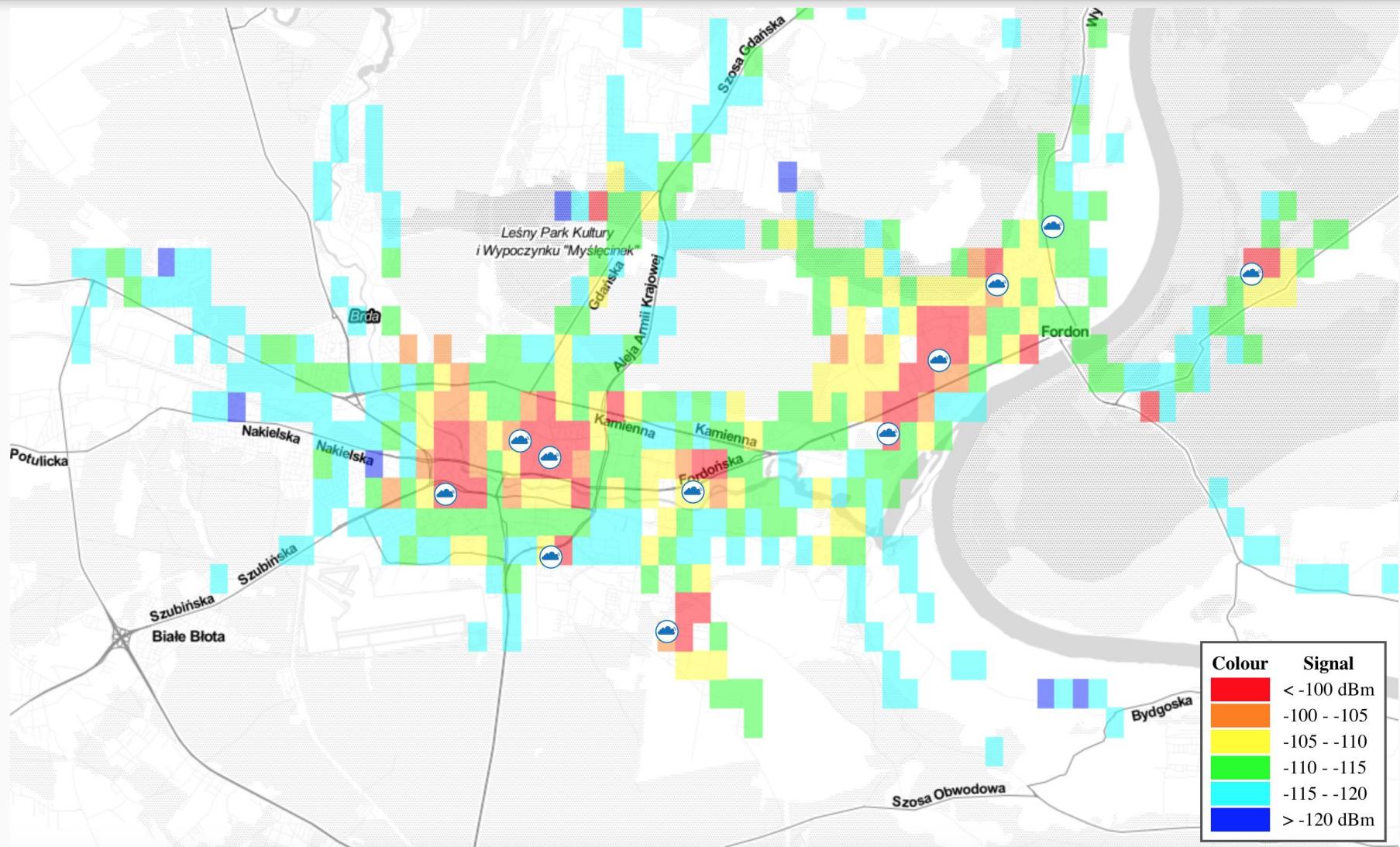
<https://ttnmapper.org/>

Dwa sposoby dostarczania danych do TTN Mapper:

- poprzez użycie urządzenia z modułem GPS, wysyłającego dane bezpośrednio do TTN Mapper (dedykowany interfejs integracyjny)
- poprzez użycie dowolnego urządzenia LoRaWAN transmitującego dane do sieci TTN oraz smartfona z zainstalowaną aplikacją TTN Mapper (Android lub iOS).



TTN Mapper - tworzenie mapy zasięgu sieci



Wizualizacja danych na platformie



Konto użytkownika platformy Signomix

Otwarta platforma do rejestracji i wizualizacji danych

Proces zakładania konta:

- wypełnienie formularza rejestracyjnego
- odebranie wiadomości z potwierdzeniem i kliknięcie na podany odnośnik
- podane kanały notyfikacji służą do przesyłania informacji o zdarzeniach



<https://signomix.com/app/#!register>

The screenshot shows the "Tworzenie konta użytkownika" (Create User Account) form. It includes fields for "Login (nazwa użytkownika)" (Login (username)), "E-mail", "Hasło" (Password), and "Powtóż hasło" (Repeat password). Below these are two password strength indicators: a green one showing "Dobry" (Good) and a red one showing "Zły" (Bad). A checkbox for accepting the "Regulamin Serwisu oraz Politykę Prywatności" (Service Terms and Privacy Policy) is present, along with "Zarejestruj się" (Register) and "Porzuć" (Abandon) buttons.

The screenshot shows the "moje konto" (My Account) page. It displays basic account information: "Standard" account type, "tester1" login, and "tester1@myserver.com" email. It also lists notification channels: "Kanal Notyfikacji GENERAL" (SIGNOMIX), "Kanal Notyfikacji INFO" (SMTP:tester1@myserver.com), "Kanal Notyfikacji WARNING" (SMTP:tester1@myserver.com), and "Kanal Notyfikacji ALERT" (SMTP:tester1@myserver.com). A "Kod Potwierdzenia" (Verification Code) field contains "6022140857". At the bottom is a pink button labeled "Chcę usunąć moje konto" (I want to delete my account).

Signomix - rejestracja urządzenia

1

SIGNOMIX

Katalog Pulpity Urządzenia Konto Dokumentacja Wyloguj się

moje urządzenia

EUI	NAZWA	TYP	STATUS	DZIAŁANIE
-----	-------	-----	--------	-----------

2

SIGNOMIX

Katalog Pulpity Urządzenia Konto Dokumentacja Wyloguj się

Nowe urządzenie

Typ urządzenia

* Nazwa

Użyj wygenerowanej dla Ciebie nazwy

* EUI

Unikalny identyfikator tego urządzenia podany przez producenta. Jeśli pozostawisz to pole puste, zostanie wygenerowany automatycznie.

Clucz

Pomiary

Nazwy pomiarów oddzielone przecinkami

EUI aplikacji

EUI aplikacji The Things Network, w której jest zarejestrowane to urządzenie.

ID aplikacji

ID aplikacji The Things Network, w której jest zarejestrowane to urządzenie.

Zapisz Porzuć

Urządzenie IoT zarejestrowane w infrastrukturze The Things Network

DEVICE OVERVIEW

Application ID
openthingsnet-trackers1

Device ID
tracker01

Activation Method
OTAA

Device EUI
00 D3 27 B4 ED D4 D6 A4

Application EUI
70 B3 D5 7E D0 02 33 FD



World Space Week WROCLAW

Signomix - integracja z aplikacją użytkownika

- Signomix korzysta z *HTTP Integration*
- Dane odebrane z urządzenia przez serwer aplikacyjny są po zdekodowaniu wysyłane w formacie JSON na wskazany adres URL

SIGNOMIX Komunikaty Pulpity Urządzenia Konto Dokumentacja Wyloguj się

Modyfikacja urządzenia

Typ urządzenia

TTN

Urządzenie IoT zarejestrowane w infrastrukturze
The Things Network

* Nazwa

test

Użyj wygodnej dla Ciebie nazwy

* EUI

006AA919884177AA

Unikalny identyfikator tego urządzenia podany przez producenta. Jeśli pozostawisz to pole puste, zostanie wygenerowany automatycznie.

Klucz

NDEwNjI0NTc5MDA2NDIxNzKxOA

Poufny klucz wykorzystywany do autoryzowania przesyłanych danych. Jeśli pozostawisz to pole puste, zostanie wygenerowany automatycznie.

ADD INTEGRATION



HTTP Integration (v2.6.0)

The Things Industries B.V.

Sends uplink data to an endpoint and receives downlink data over HTTP.

[documentation](#)

Process ID

The unique identifier of the new integration process

signomix

Access Key

The access key used for downlink

[default key](#) [devices](#) [messages](#)

URL

The URL of the endpoint

<http://signomix.com/api/ttn>

Method

The HTTP method to use

POST

Authorization

The value of the Authorization header

NDEwNjI0NTc5MDA2NDIxNzKxOA

Custom Header Name

An optional custom HTTP header that you would like to add to the request

Custom Header Value

The value of the custom Header

Cancel

Add integration

Signomix - domyślny pulpit urządzenia

- Po zarejestrowaniu urządzenia automatycznie tworzony jest dla niego domyślny pulpit (*dashboard*) o nazwie takiej jak EUI urządzenia
- Dane są natychmiast dostępne do przeglądania
- Jeśli dla urządzenia nie został podany skrypt procesora danych, to nazwy zmiennych zgodne z danymi przesyłanymi z TTN w formacie JSON (z wyjątkiem danych GPS)

The screenshot shows the Signomix dashboard for the device 'Tracker testowy 1'. It features four data cards:

- analog_in_2:** Value 9, with a circular progress bar icon.
- analog_in_3:** Value 1.35, with a circular progress bar icon.
- gps_1_latitude:** Value 53.1581, with a location pin icon.
- gps_1_longitude:** Value 18.2246, with a location pin icon.

Below these cards is a card for 'gps_1_altitude' with a value of 83.9 and a blue triangle icon. A tooltip for this card displays the following JSON object:

```
{  
    "analog_in_2": 11,  
    "analog_in_3": 0.88,  
    "gps_1":  
    {  
        "altitude": 76.19,  
        "latitude": 53.1581,  
        "longitude": 18.2246  
    }  
}
```

In the bottom left corner is the World Space Week logo.

Zmiana definicji pulpitu

* Nazwa

00D327B4EDD4D6A4

Wybierz unikalną nazwę pulpitu (alfanumeryczną, bez spacji)

Pulpit może być współdzielony

* Tytuł

Tracker testowy 1

Wybierz tytuł dla pulpitu

Zespół

,
Loginy użytkowników oddzielone przecinkami

Kontrolki +

NAZWA	TYP	OPERACJA
analog_in_2	Etykieta	↓ ↑ 🖊️ 🗑️
analog_in_3	Etykieta	↓ ↑ 🖊️ 🗑️
gps_1_latitude	Etykieta	↓ ↑ 🖊️ 🗑️
gps_1_longitude	Etykieta	↓ ↑ 🖊️ 🗑️
gps_1_altitude	Etykieta	↓ ↑ 🖊️ 🗑️

Zapisz

Porzuć

Signomix - modyfikacje pulpitu

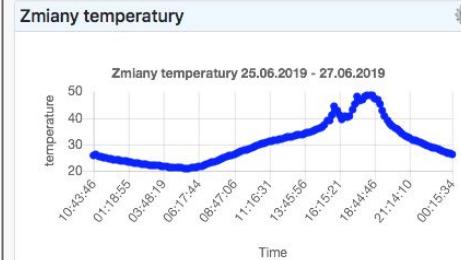
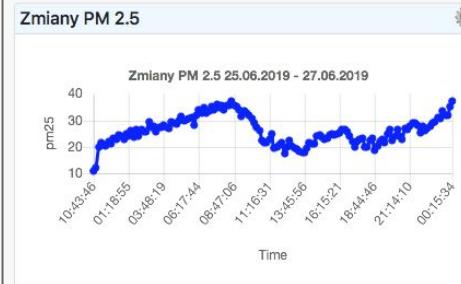
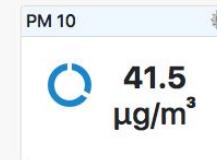
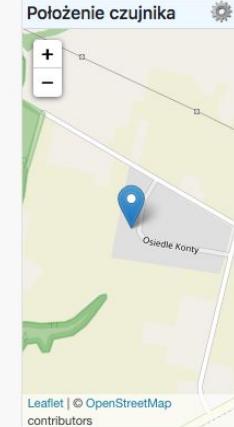
Modyfikacja domyślnego pulpitu lub utworzenie nowego pozwala na:

- zmianę sposobu prezentacji danych
 - wizualizację przekroczeń progów
 - dodanie elementów tekstowych
 - prezentację danych z różnych urządzeń
 - publikowanie pulpitów
 - osadzenie raportów grupowych



Smogometr 2 c

Test czujnika smogu przygotowanego przez społeczność [The Thing Network](#) oraz stowarzyszenie [Otwarta Sieć Rzeczy](#).



Signomix - rejestracja urządzenia c.d.

SIGNOMIX Komunikaty Pulpity Urządzenia Konto Dokumentacja Wyloguj się

Modyfikacja urządzenia

Typ urządzenia
TTN

Urządzenie IoT zarejestrowane w infrastrukturze
The Things Network

* Nazwa
test

Użyj wygodnej dla Ciebie nazwy

* EUI
006AA919884177AA

Unikalny identyfikator tego urządzenia podany przez producenta. Jeśli pozostawisz to pole puste, zostanie wygenerowany automatycznie.

Klucz
NDEwNjI0NTc5MDA2NDIxNzkxOA

Poufny klucz wykorzystywany do autoryzowania przesyłanych danych. Jeśli pozostawisz to pole puste, zostanie wygenerowany automatycznie.

Pomiary
 Nazwy pomiarów oddzielone przecinkami

Zespół

Loginy innych użytkowników mających dostęp do danych z tego urządzenia. Oddzielone przecinkami.

Opis

Skrypt dekodera danych

Pozostaw puste jeśli nie wiesz o co chodzi.

Skrypt procesora danych.

```
// zmieniamy nazwy danych na bardziej przyjazne
putData('temperature',getValueOf('temperature_1'))
putData('humidity',getValuerInRelative_humidity_2')
```

- Zmiana nazewnictwa danych
- Przetwarzanie danych przy użyciu skryptu
 - zmiany nazw odbieranych danych
 - korekcja wartości
 - tworzenie danych wyliczeniowych
 - powiadomienia
 - polecenia dla urządzeń
 - zapis danych do urządzeń wirtualnych

```
// skryptu możemy użyć skorygowania odebranych wartości danych
// lub dostarczenia danych wyliczanych
var time=sgx.getTimestamp('analog_in_2')
var sat=sgx.getValue('analog_in_2')
var hdop=sgx.getValue('analog_in_3')
sgx.put('satelites',sat,time)
sgx.put('hdop',hdop,time)
// jeśli zastosujemy skrypt do utworzenia lub zmodyfikowania danych,
// to musimy pozostałe dane zaakceptować
sgx.accept('gps_1_latitude')
sgx.accept('gps_1_longitude')
sgx.accept('gps_1_altitude')
```



Signomix - powiadomienia

- Wizualizacja ostrzeżeń na dedykowanym pulpicie
- Automatyczne powiadomienia o niedostępności urządzeń
 - Signomix monitoruje aktualność danych dla każdego urządzenia co 15 minut
 - jeśli dane są starsze niż zadeklarowana długość cyklu (>0), to informacja jest przesyłana kanałem GENERIC do właściciela urządzenia oraz wszystkich kont w przypisanym zespole
- Generowanie powiadomień w oparciu o analizę danych (definicja urządzenia: skrypt procesora danych), np:
 - "elektroniczne ogrodzenie"
 - monitorowanie stanu baterii

```
// położenie centrum obszaru monitorowanego
var homeLon = 51.104878
var homeLat = 17.012639
// aktualne położenie czujnika
var lon = sgx.getValue('gps_1_longitude')
var lat = sgx.getValue('gps_1_latitude')
// jeśli czujnik oddali się ponad 100 metrów
if(sgx.getDistance(homeLat,homeLon,lat,lon) > 100){
    sgx.addNotification("alert","obiekt poza ogrodzeniem")
}
```



Definicja kontrolki

Typ

Etykieta

EUI urządzenia

AA6637AC0B234D38

EUI urządzenia, do którego masz uprawnienia

Nazwa danej

pm100

Nazwa danej rejestrowanej przez urządzenie (np. temperatura)

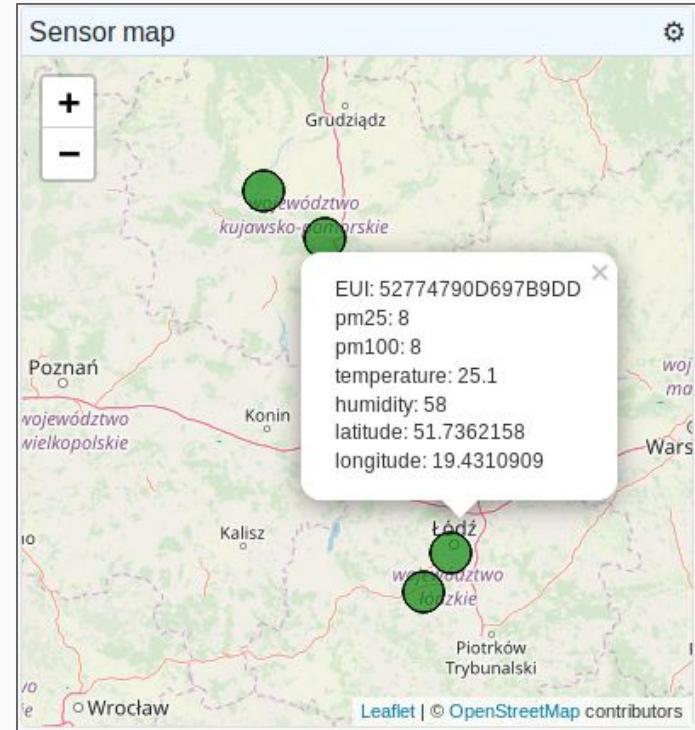
Zakresy ostrzeżeń

>100:>50

Zakresy ostrzeżeń w formacie {alertCondition}[:{warningCondition}] (np.
<-10>40:<0>30)

Signomix - mapy dla grup urządzeń

- Przypisanie urządzenia do grupy umożliwia przedstawienie wysyłanych przez nie danych na raporcie zbiorczym lub mapie. Raport zawiera odnośniki do domyślnych pulpitów wymienionych urządzeń (EUI pulpitu jest takie samo jak EUI urządzenia).
- Warunki
 - grupa urządzeń jest zdefiniowana przez administratora platformy Signomix
 - parametr *Zespół (Team)* każdego urządzenia musi zawierać ID autora raportu grupowego
 - parametr *Pomiary (Measurements)* urządzenia musi zawierać nazwy pomiarów podane w definicji grupy
 - jeśli raport grupowy jest udostępniany publicznie, to podlinkowane raporty szczegółowe będą dostępne jeśli również mają ustawiony parametr "współdzielony" (*shared*)



SIGNOMIX Alerts Dashboards Devices Account Documentation Sign Out

Raport smogowy c

Raport						
DEVICE EUI	PM25	PM100	TEMPERATURE	HUMIDITY	DATE	DETAILS
009FB2FF8EBB8E00	4.19	6.9	29.4	39.5	2019-06-26 01:47:01	Show ...
AA6637AC0B234D38	30.8	32.3	28.7	59.8	2019-06-26 10:01:49	Show ...
52774790D697B9DD	22	22	30.1	99.9	2019-06-26 10:04:21	Show ...

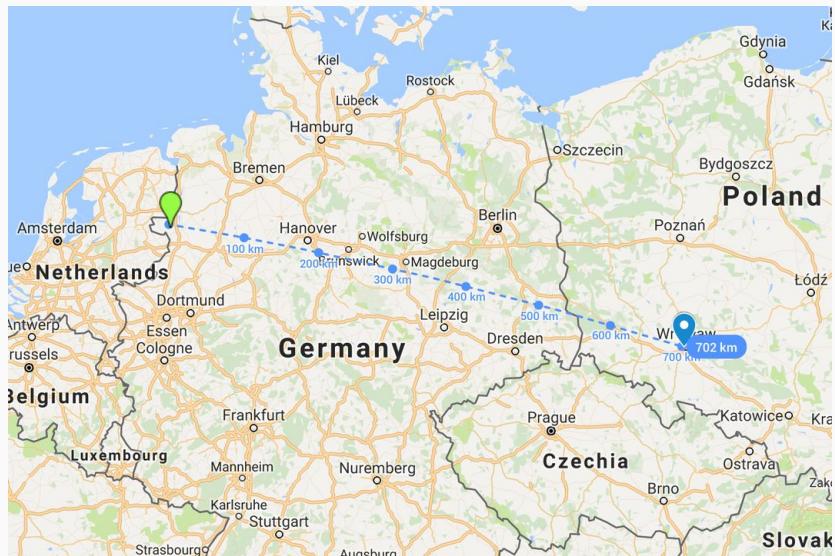
Ciekawostki



Zasięg transmisji LoRaWAN

Rekordy odległości transmisji LoRaWAN

- teoretyczna maksymalna odległość - 800 km
- sierpień 2017 - 702 km
- lipiec 2019 - 741 i 766 km



<https://www.thethingsnetwork.org/article/lorawan-distance-world-record>

Lokalizacja za pomocą technologii LoRaWAN

Metadane

- czas odebrania danych przez bramkę
- poziom odbieranego sygnału (RSSI - *Received Signal Strength Indicator*)
- stosunek sygnału do szumu (SNR - *Signal to Noise Ratio*)
- współrzędne geograficzne bramki

Wyznaczanie pozycji nadajnika za pomocą lateracji

- odległość na podstawie czasu propagacji sygnału
- odległość na podstawie tłumienia/zanikania sygnału

Przykłady usług związanych z lokalizacją LoRaWAN

- Collos - Collaborative Location Service
- Kerlink - Wanesy Geolocation Solution

```
{
  "time": "2019-10-03T17:21:31.146577222Z",
  "frequency": 867.9,
  "modulation": "LORA",
  "data_rate": "SF7BW125",
  "coding_rate": "4/5",
  "gateways": [
    {
      "gtw_id": "nmg-gateway",
      "gtw_trusted": true,
      "timestamp": 3832111796,
      "time": "2019-10-03T17:34:14Z",
      "channel": 7,
      "rssi": -120,
      "snr": -4.75,
      "latitude": 53.130524,
      "longitude": 18.11909,
      "altitude": 63,
      "location_source": "registry"
    },
    {
      "gtw_id": "utp-gateway",
      "gtw_trusted": true,
      "timestamp": 3136174628,
      "time": "2019-10-03T17:21:30.113248226Z",
      "channel": 7,
      "rssi": -116,
      "snr": -2,
      "latitude": 53.143066,
      "longitude": 18.13399,
      "altitude": 80
    },
    {
      "gtw_id": "eui-b827ebffffd72eaf",
      "timestamp": 1053208004,
      "time": "2019-10-03T17:21:31.114451Z",
      "channel": 7,
      "rssi": -69,
      "snr": 11,
      "latitude": 53.15817,
      "longitude": 18.22477,
      "altitude": 86
    }
  ]
}
```

Śledzenie balonów stratosferycznych - SR0FLY-TTN

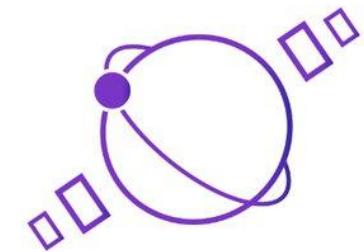
Przykład lokalizatora LoRaWAN przygotowanego do misji stratosferycznych

- układ RN2483
- moduł GNSS u-BloxMAX-M8C
- czujnik temperatury i ciśnienia BME280
- analogowy czujnik temperatury TMP36
- czujnik UV VEML6070
- bateria 3.6V typu AA



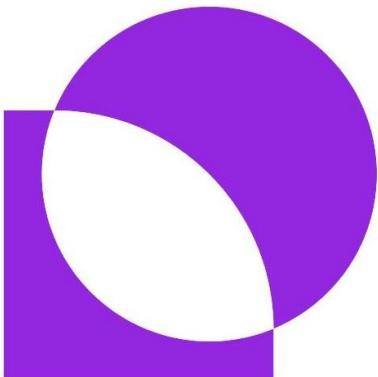
Nadajnik-odbiornik LoRaWAN w satelicie

- przelatujące okresowo na niskiej orbicie satelity odbierają wiadomości wysyłane przez urządzenia
- satelity przechowują tymczasowo odebrane wiadomości i retransmitują je do stacji naziemnej, gdy znajdzie się w zasięgu
- stacja naziemna przekazuje wiadomości do sieci



space
Lacuna

?



Dziękujemy za udział w warsztatach



mariusz.r.kubas@gmail.com

thethingsnetwork.org/community/bydgoszcz

g.skorupa@gmail.com

thethingsnetwork.org/community/lodz