Nadanie i odbiór asynchroniczny

Piotr Zawadzki

ostatnia aktualizacja: 6 maja 2024 r.

Założenia

Tylko warstwa łącza

- Nie opuszczamy abstrakcji bitów.
- Brak odwołań do symboli.
- Nie ma modulatorów i demodulatorów kanałowych.

Jednak schemat końcowy jest strukturalnie zgodny z nadajnikiem i odbiornikiem OFDM!

Czego mi brakowało w GNU Radio

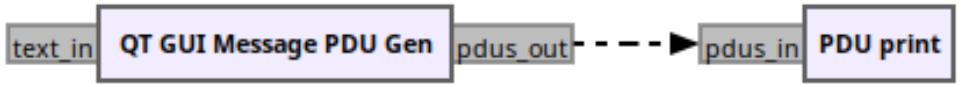
i co musiałem dorobić

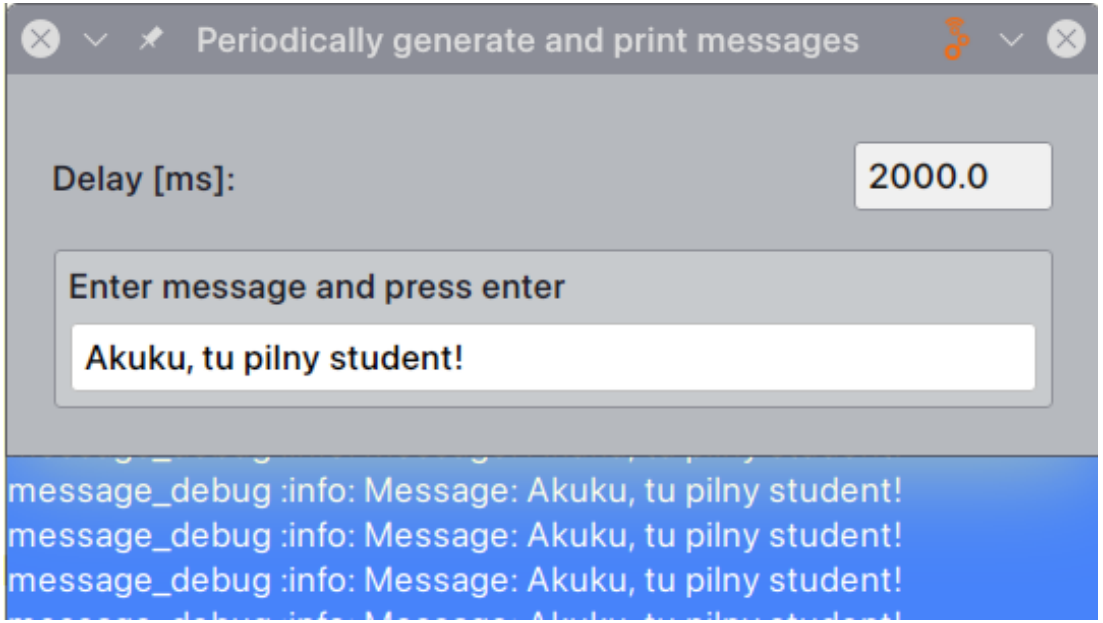
- Blok, który okresowo wysyła ramkę o treści zadanej przez użytkownika - `QT GUI Message PDU Gen`.
- Blok wypisujący zawartość PDU jako string `PDU print`.
- Model kanału BSC.

Jak dodać blok OOT do swojego Gnuradio Companion

1. Wczytać definicję bloku (plik *.grc) do *Gnuradio Companion*.
2. Wygenerować diagram przepływu (tak naprawdę definicję funkcji).
3. Bloki OOT stają się wtedy dostępne w kategorii `GRC Hier Blocks`.

`npkt_00.grc` Nadajnik i odbiornik zwarte na krótko





Nadajnik okresowo produkuje wiadomości, które są następnie drukowane.

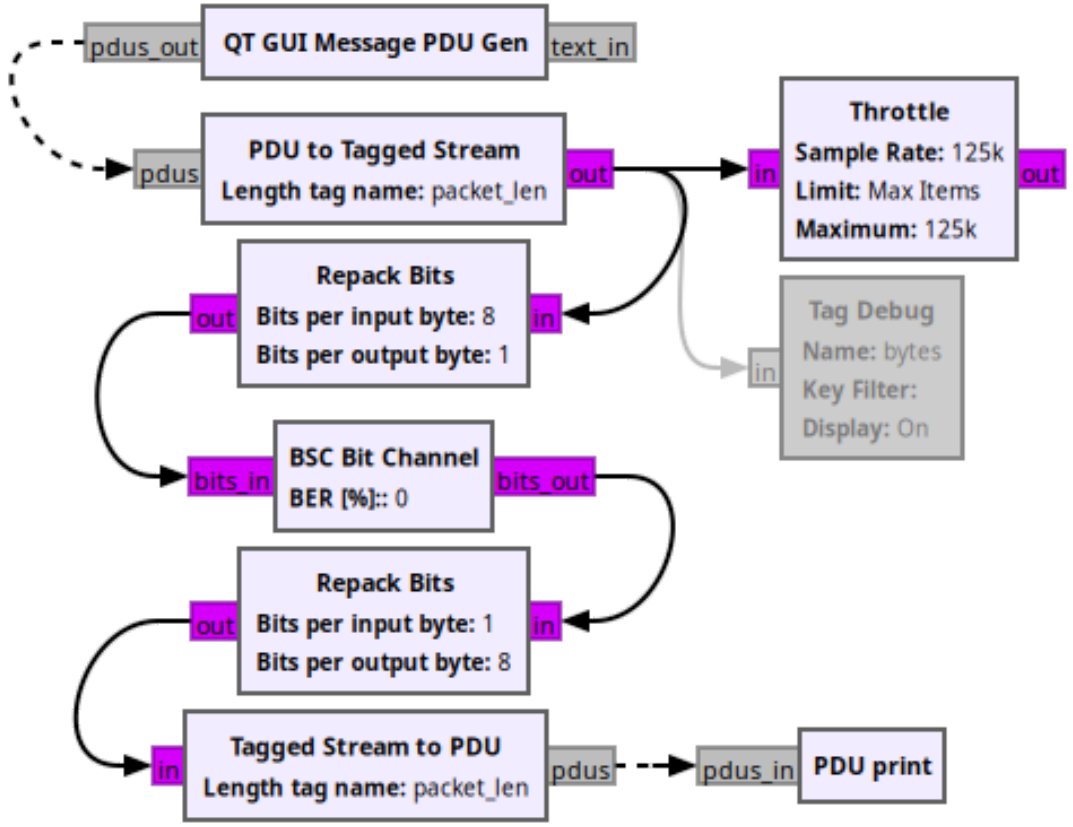
PDU są wewnętrznie reprezentowane jako para:

- słownik reprezentujący metadane skojarzone z ramką,
- wektor bajtów.

Każdy z tych elementów składowych oraz samo PDU są reprezentowane jako typ Polymorphic Type (PMT) zdefiniowany w Gnuradio

`npkt_01.grc` Dodano kanał BSC

Można obserwować wpływ BER na jakość przesyłanych komunikatów.

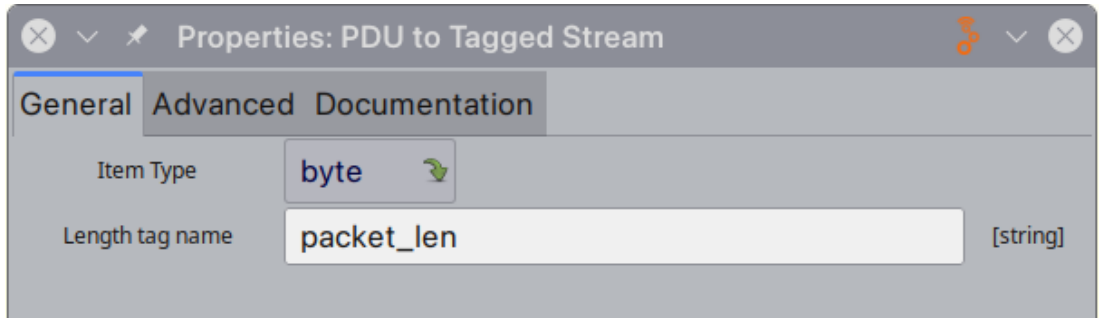


Wystarczą pojedyncze procenty.

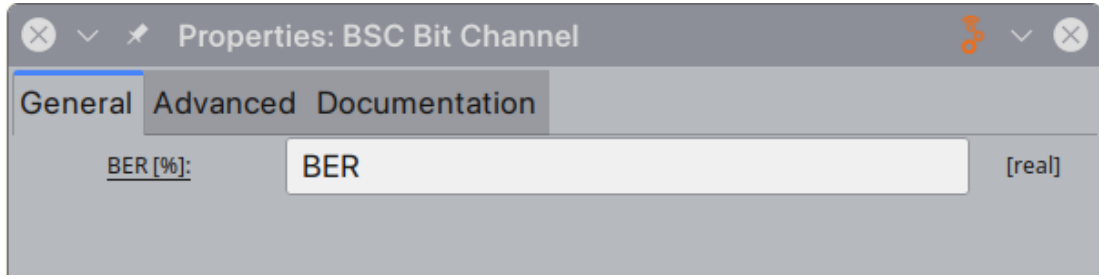
- `Throttle` jest konieczny gdy nie ma źródła sprzętowego.
- Odbiornik pracuje na strumieniu danych.
- Gdy nie ma modułu zapewniającego synchronizację to należy ją zapewnić w sposób sztuczny.
- Do pierwszego bajtu pakietu dodawany jest znacznik (tag) zawierający jego długość (`PDU to Tagged Stream`).
- `Repack Bits` zapewnia serializację i de-serializację.
- W kanale obowiązuje sieciowy (MSB) porządek bitów (*teraz to bez znaczenia, ale bloki realizujące synchronizację spodziewają się właśnie takiego uporządkowania bitów*).
- Odzyskanie synchronizacji (dzięki znacznikowi `packet_len`) zapewnia `Tagged Stream to PDU`.

`npkt_01.grc` Technikalia

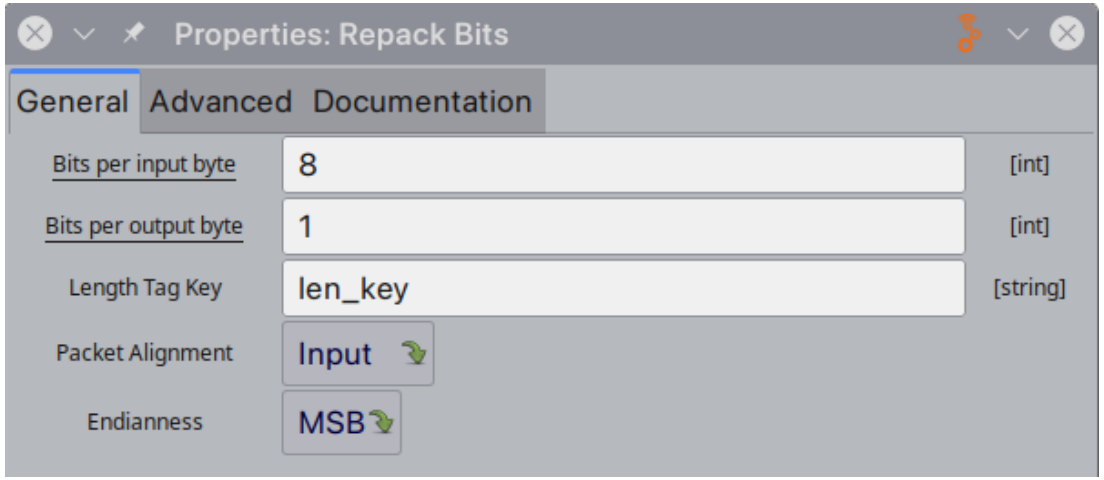
Znakowanie danych



Model kanału

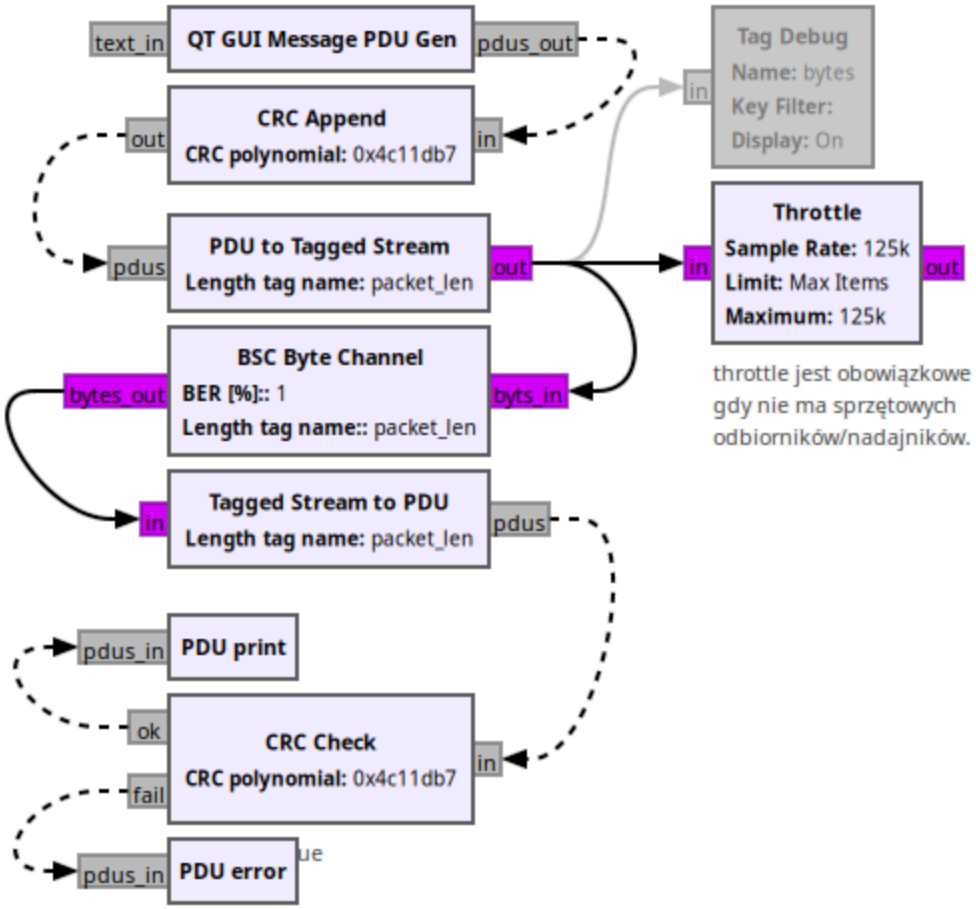


Serializacja



Ze względu na wewnętrzne buforowanie zmiana BER *w locie* jest dyskusyjna - zmiana jest widoczna dopiero po pewnym czasie

`npkt_02.grc` Stopień detekcji błędów



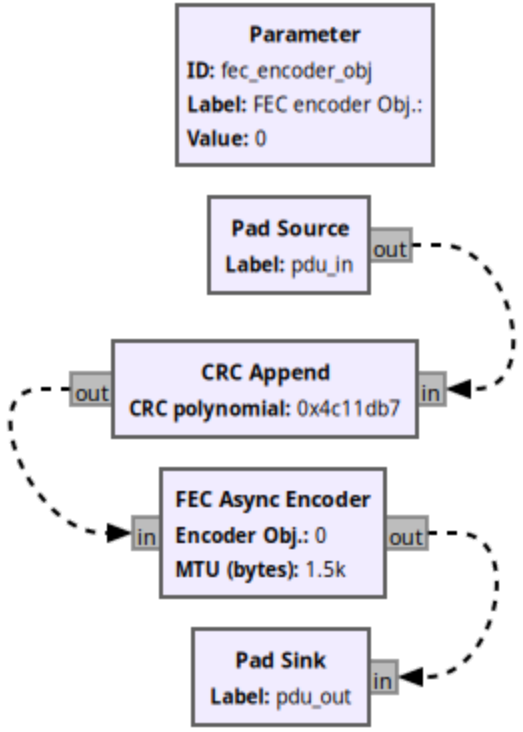
- `BSC Byte Channel` objemuje bloki realizujące serializację danych,
- Szkody są duże, dla $BER = 1\%$ prawie każdy pakiet jest uszkodzony,

Kodowanie nadmiarowe jest niezbędne.

- *bloki* `Async CRC16` *i* `Async CRC32` *są* ***przestarzałe*** *od* ***wersji 3.10***.

Kodowanie nadmiarowe w GNU Radio

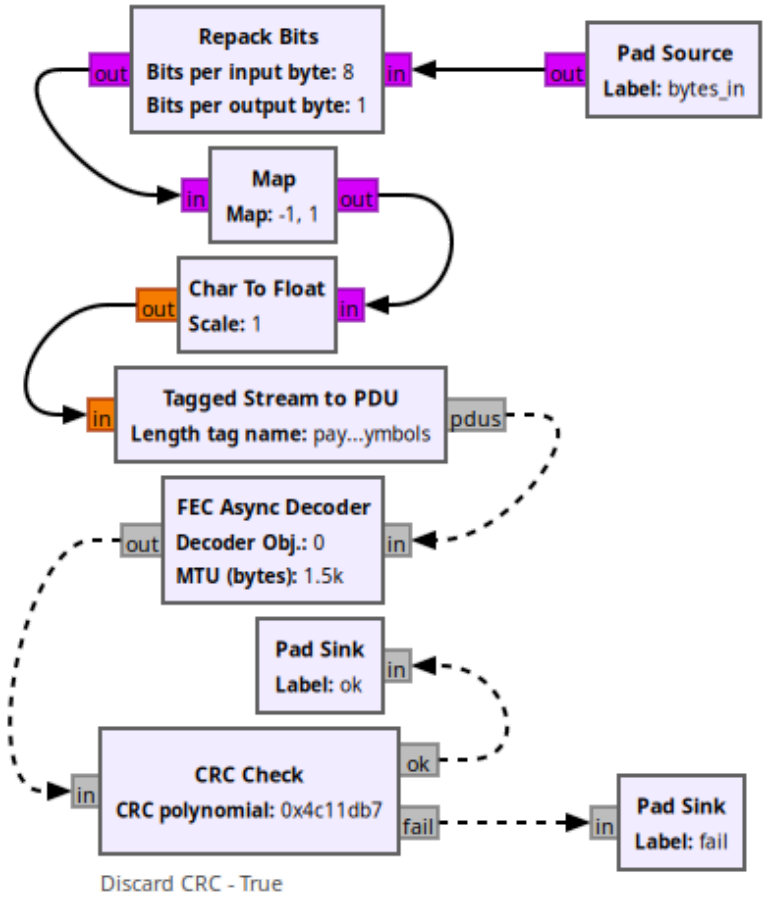
`Payload Encode`



- `FEC Async Encoder` aplikuje kod korekcyjny do PDU,
- Definicja kodera dla konkretnego kodu jest zewnętrzna w stosunku do bloku `FEC Async Encoder`,
- Należy zdefiniować zmienną (obiekt) kodera i przekazać ją jako parametr,
- Istnieją gotowe bloki konfigurujące obiekty koderów i pasujących do nich dekoderów: `Dummy ...`, `Repetition ...`, `CC ...`, `TPC ...`, `LDPC ...`, `Polar ...`,

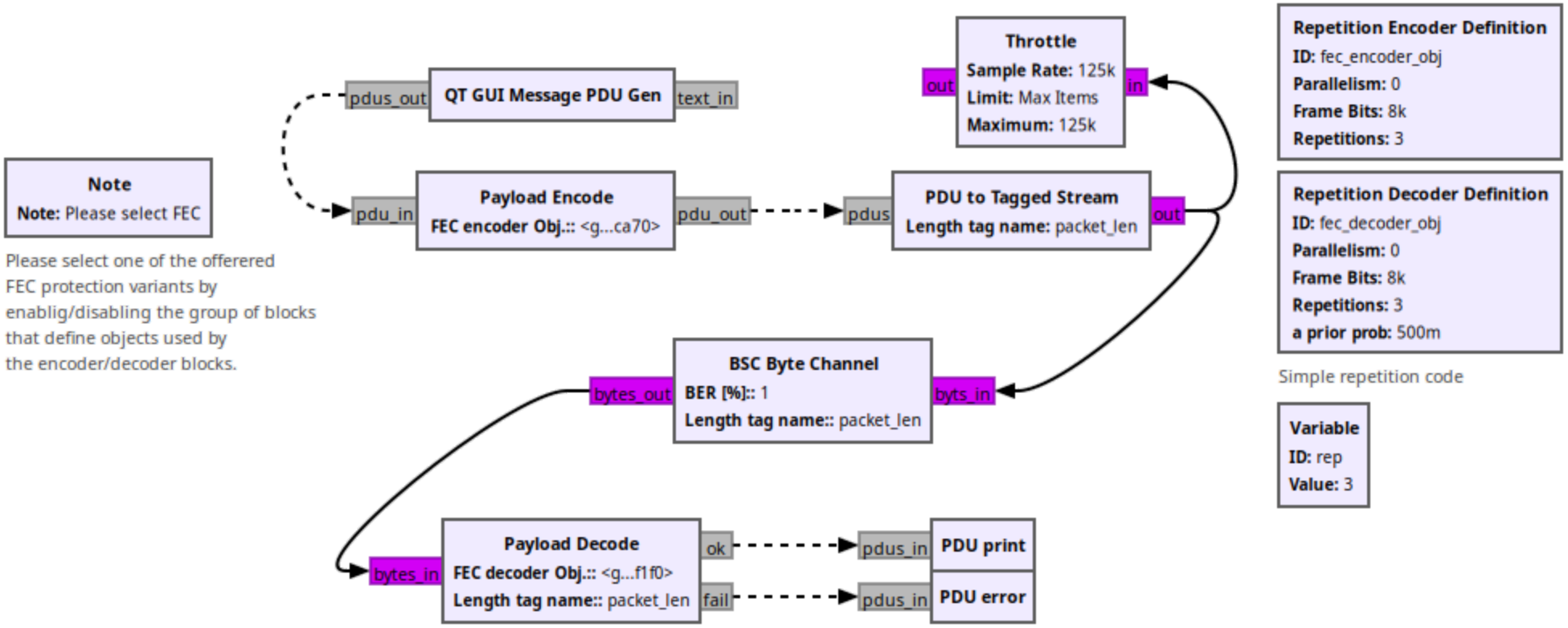
Dekodowanie jest trudniejsze

`Payload Decode`



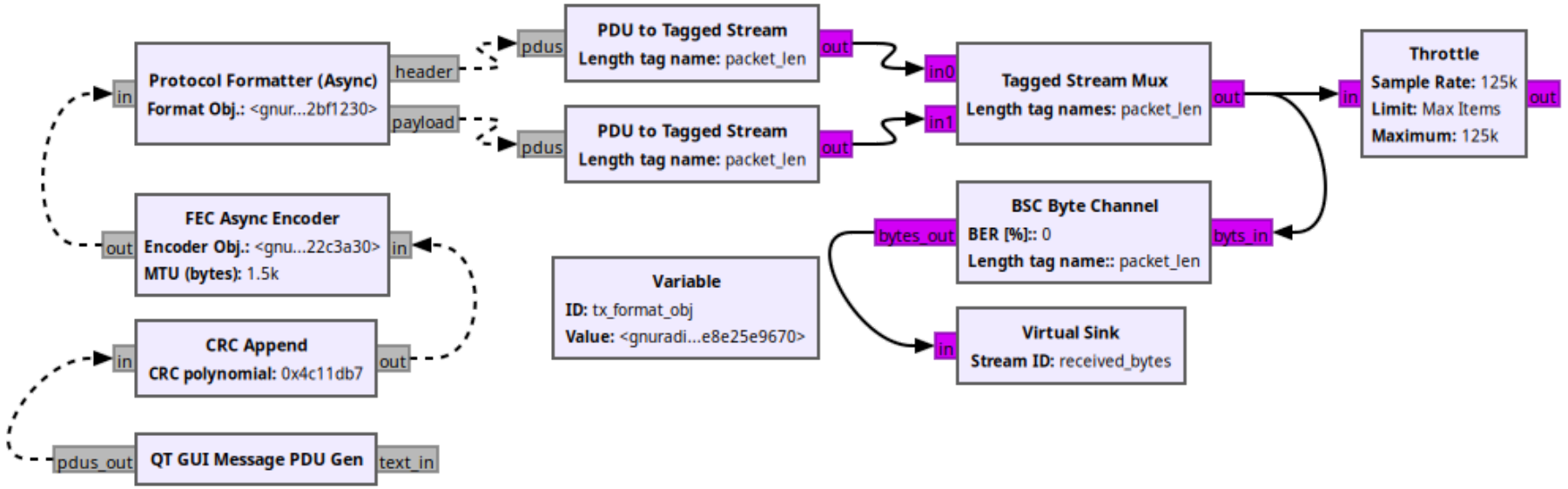
- `FEC Async decoder` pracuje na *miękkich* bitach,
- uporządkowanie bitów ma być zgodne z architekturą systemu (tutaj LSB),
- parametr `Decoder Obj.` musi być kompatybilny z obiektem kodera.

Transmisja z kodowaniem nadmiarowym

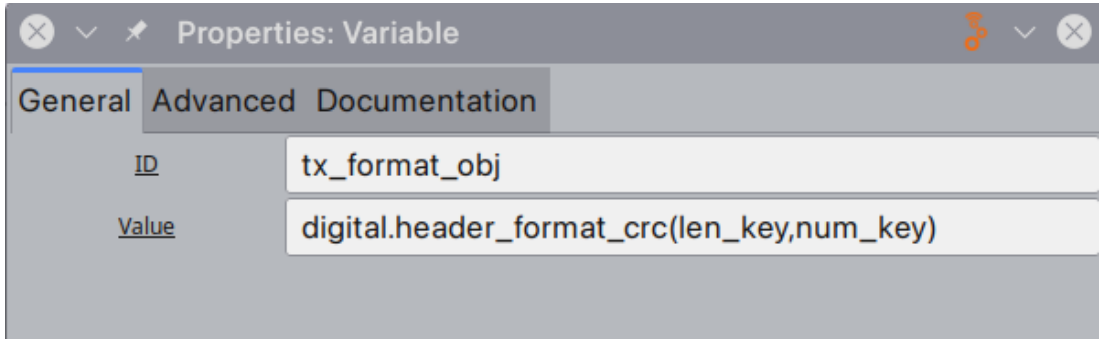


Dla kodu powtórzeniowego $r = 3$ prawie wszystkie pakiety są bezbłędne przy stopie $BER = 1\%$.

Nagłówek



- Za uzupełnienie nagłówka odpowiada `Protocol Formatter (Async)`
- Za jego wyznaczenie odpowiada obiekt wyprowadzony z klasy `header_format_base`,
- Dostępne klasy `header_format_default`, `header_format_crc`, `header_format_counter`, `header_format_ofdm`



- `len_key="packet_len"`, `num_key="packet_num"`

Typy nagłówków

Nagłówki zawierające `access code` zakładają sieciowe (MSB) uporządkowanie bajtów i bitów.

`header_format_default`	≤ 64 bits	16 bits	16 bits	
	access code	pkt len	pkt len (repeated)	payload

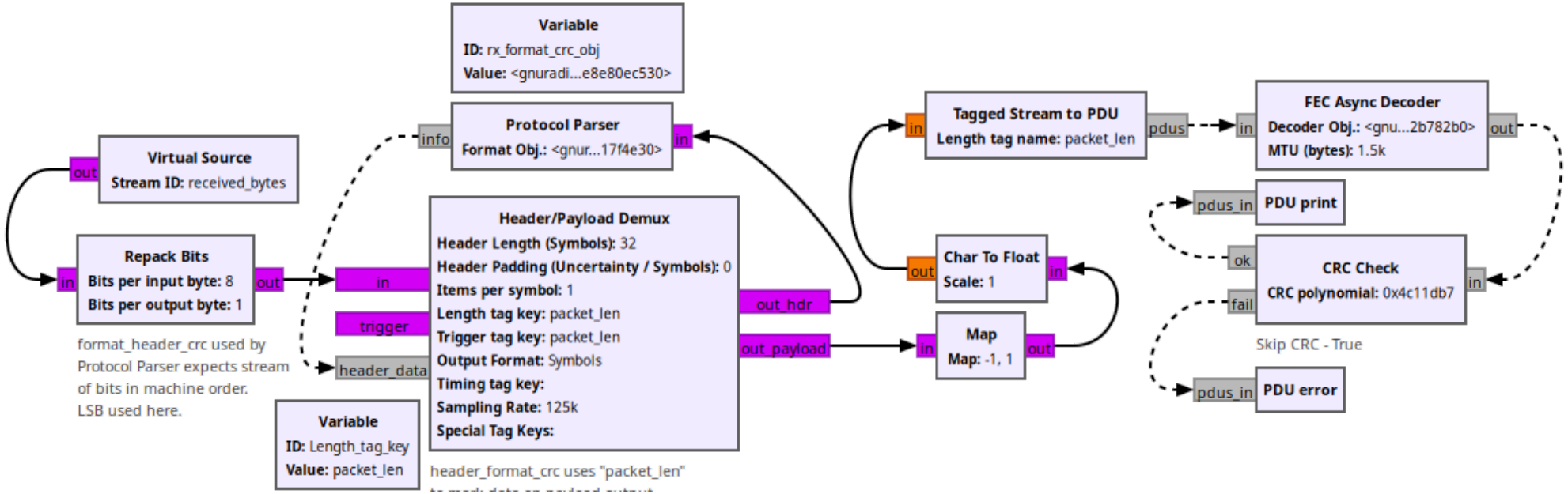
`header_format_counter`	≤ 64 bits	16 bits	16 bits	16 bits	16 bits	
	access code	pkt len	pkt len (repeated)	bits/symbol	counter	payload

Typy nagłówków

Nagłówki bez `access_code` zakładają porządek zgodny z architekturą (czyli zazwyczaj LSB). Najwidoczniej zakłada się, że synchronizacja zostanie wykonana inaczej.

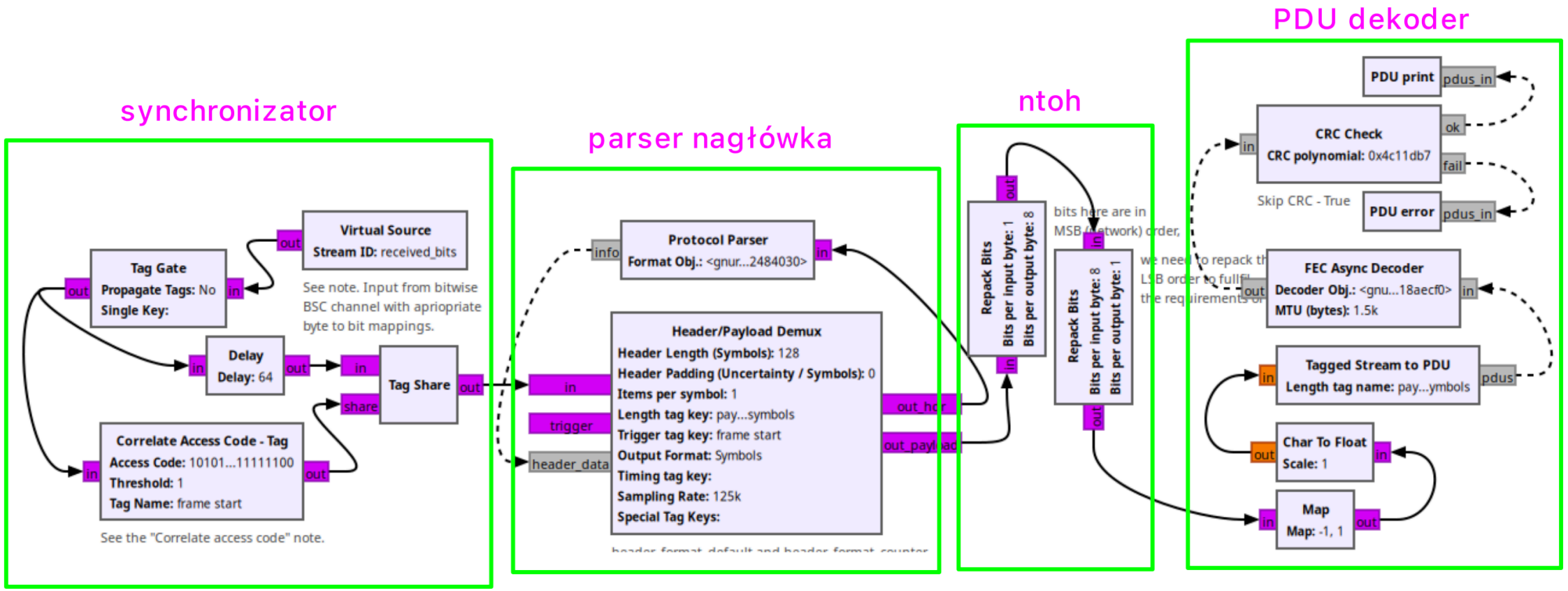
`header_format_crc`/`header_format_ofdm`	0 - 11	12 - 23	24 - 31
	pkt len	counter	CRC8

Odbiór z zewnętrzną synchronizacją



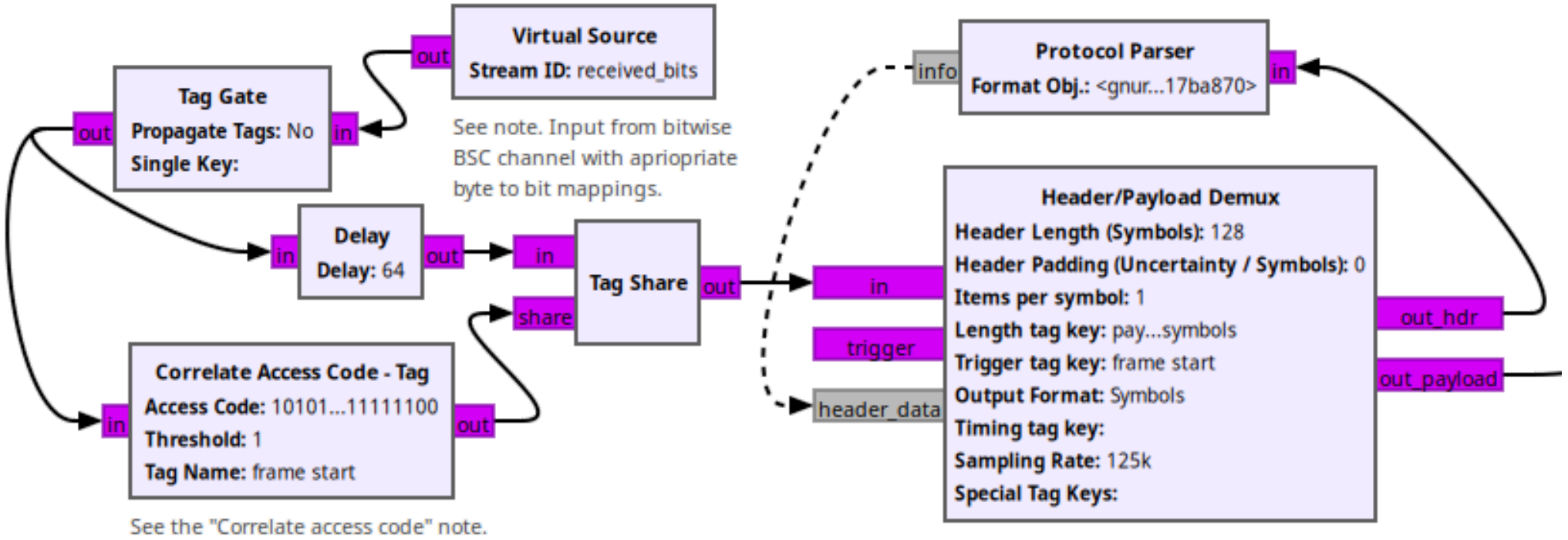
- Obiekt nagłówka `format_header_crc`, dane w trybie LSB, synchronizację zapewnia znacznik określony w `Trigger tag key`.
- Od momentu pojawienia się znacznika bity z `in` są wystawiane na `out_hdr` do `Protocol Parser` i podejmowana jest próba zdekodowania nagłówka.
- Zgodność CRC8 włącza interpretację pola długości danych.
- Na porcie `out_payload` wystawiany jest znacznik określony w `Length tag key` i zawierający zdekodowaną długość danych.
- Bity z wejścia `in` cały czas idą na `out_payload`, ale bez znacznika są odrzucane przez `Tagged Stream to PDU`.

Synchronizacja na podstawie `access_code`



- `access_code=digital.packet_utils.default_access_code`
- `header_obj=digital.header_format_counter(access_code, 2,1)`

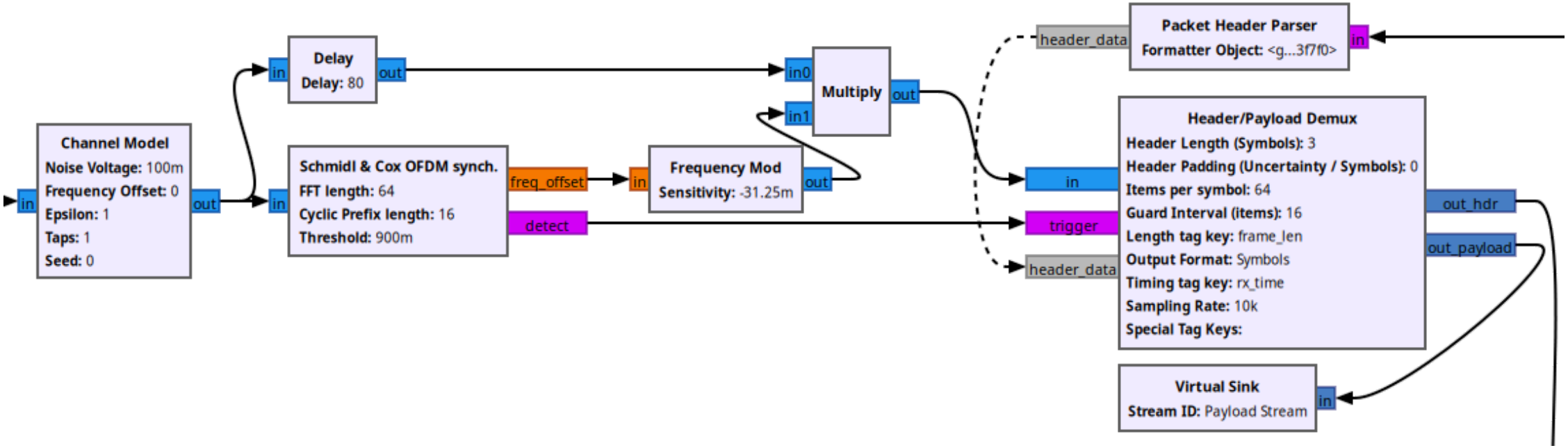
Synchronizator z bliska



- celem jest wygenerowanie tagu gdy pojawi się odpowiednia sekwencja bitów: `frame_start`,
- HPL wtedy prześle bity do obiektu nagłówka

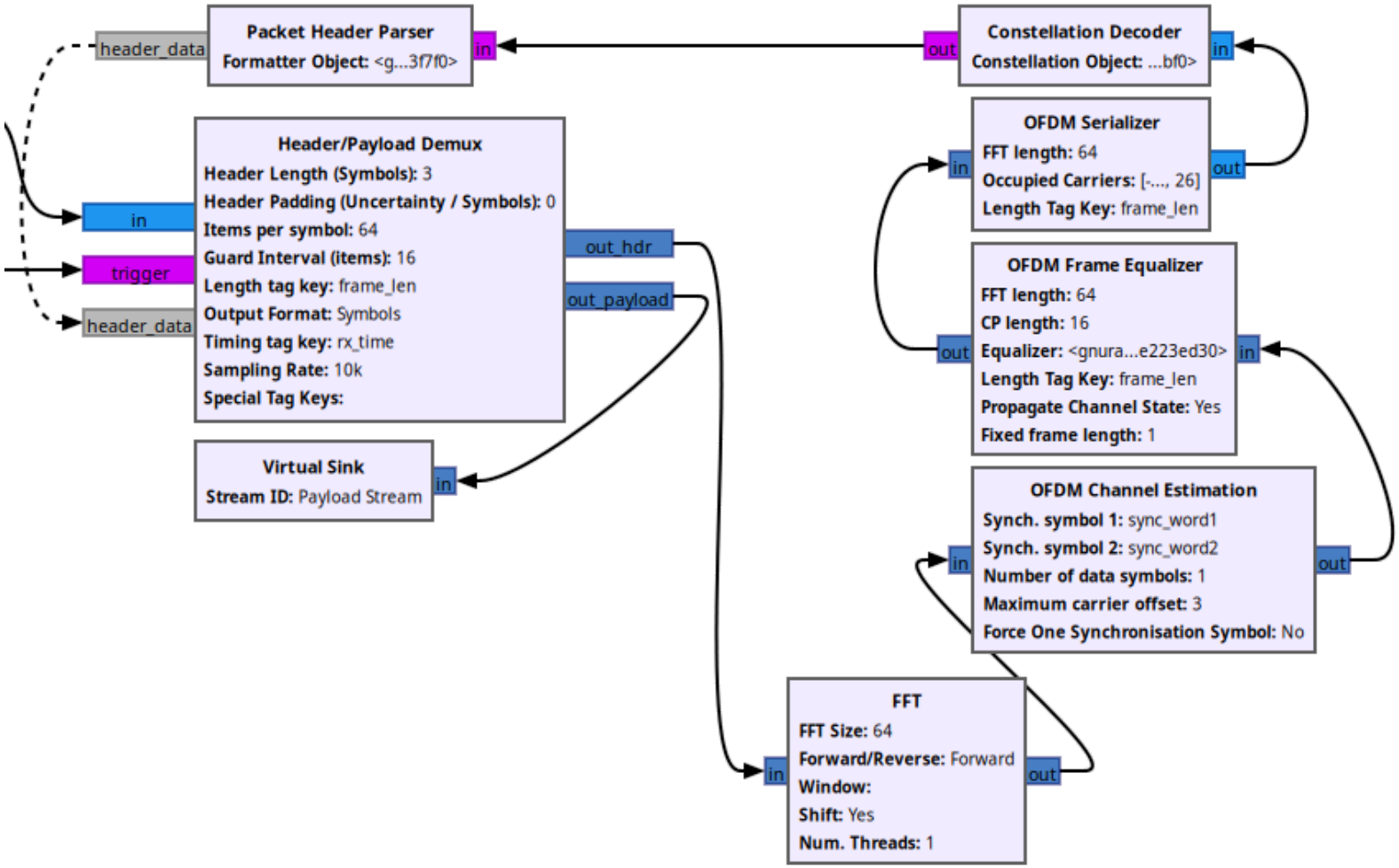
- po znalezieniu i interpretacji pól nagłówka obiekt nagłówka na pierwszym bicie danych ustawi znacznik `payload_symbols`,
- trzeba jeszcze zmienić porządek bitów z sieciowego na natywny dla hosta

OFDM Synchronizer

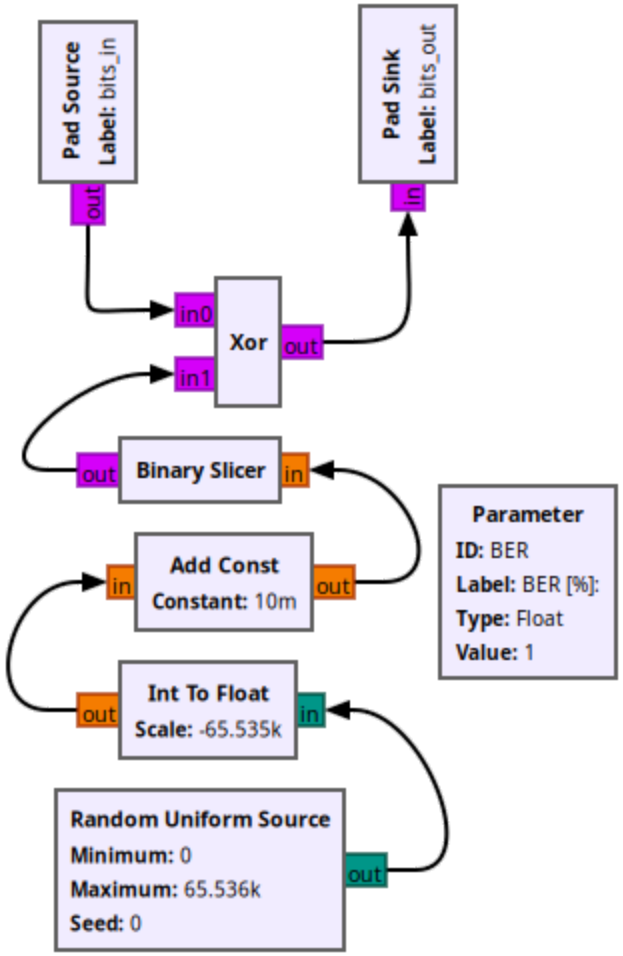


Synchronizator i dekoder nagłówka w OFDM są bardzo zbliżone do przedstawionego schematu

OFDM Header Parser



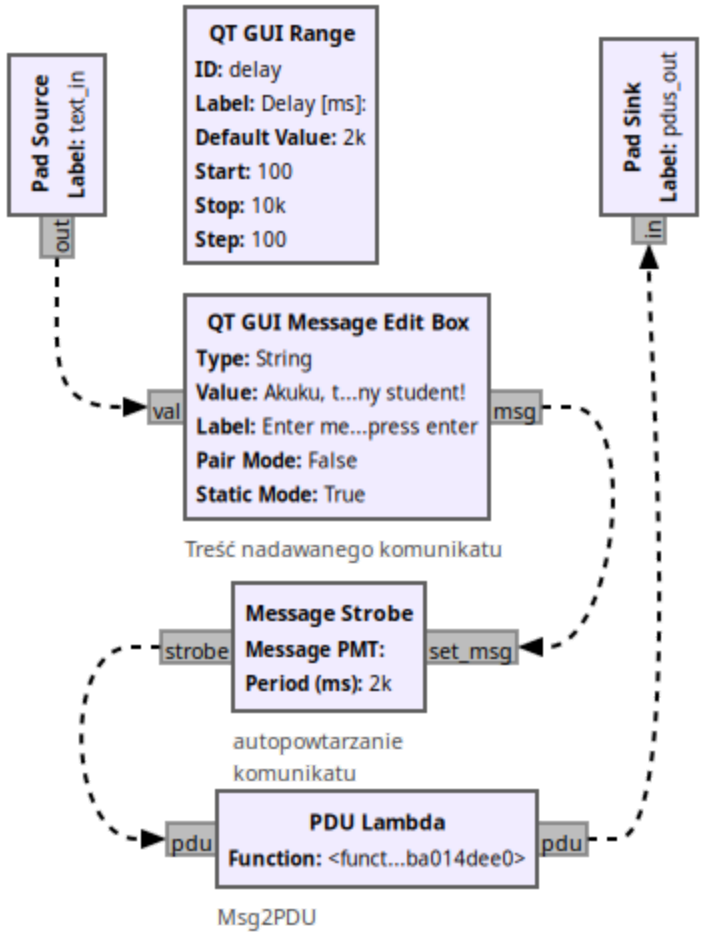
Moje bloki OOT, `BSC Bit Channel`



Kolejne kroki

1. `Random Uniform Source` generuje 16-bitową liczbę losową,
2. liczba jest skalowana na przedział $[-1; 0]$,
3. przedział przesuwa się o BER: $b \in [-1 + BER; BER]$
4. progowanie: $b > 0 \rightarrow 1, b < 0 \rightarrow 0$, procent jedynek wprost proporcjonalny do BER,
5. gdy $b = 1$ to bit wejściowy odwraca operacja xor.

Moje bloki OOT, `msg_pdu_gen`

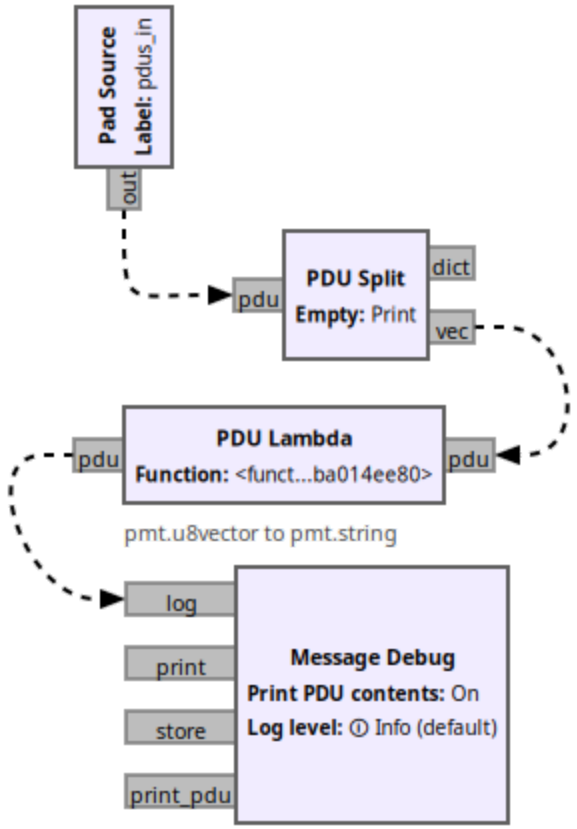


Kolejne kroki

1. `QT GUI Message edit Box` pozwala na wprowadzenie treści komunikatu,
2. który jest powtarzany przez `Message Strobe` co zadany okres czasu,
3. Parametr `Message PMT` jest zainicjowany komunikatem pustym: `pmt.intern(b"")`,
4. Najważniejsza jest nienazwana funkcja `lambda`, w której na podstawie parametru `msg` jest tworzony PDU, czyli para złożona z pustego słownika oraz wektora bajtów.

```
lambda msg: pmt.cons(pmt.PMT_NIL, pmt.init_u8vector(len(pmt.symbol_to_string(msg)), [ord(i) for i in pmt.symbol_to_string(msg)]))
```

Moje bloki OOT, `msg_pdu_print`

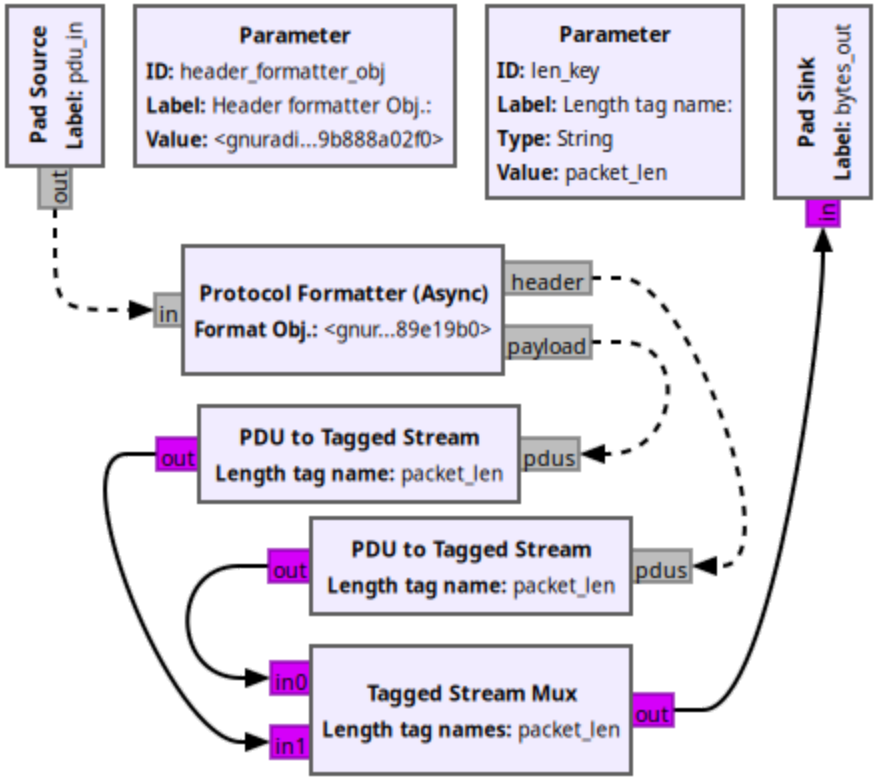


Kolejne kroki

1. `PDU Split` oddziela metadane od danych w PDU,
2. Funkcja `lambda` konwertuje wektyor bajtów PMT na ciąg znaków,
3. A potem już tylko wydruk w konsoli.

```
lambda u8vector: pmt.intern(''.join(chr(x) for x in pmt.u8vector_elements(u8vector)).encode())
```

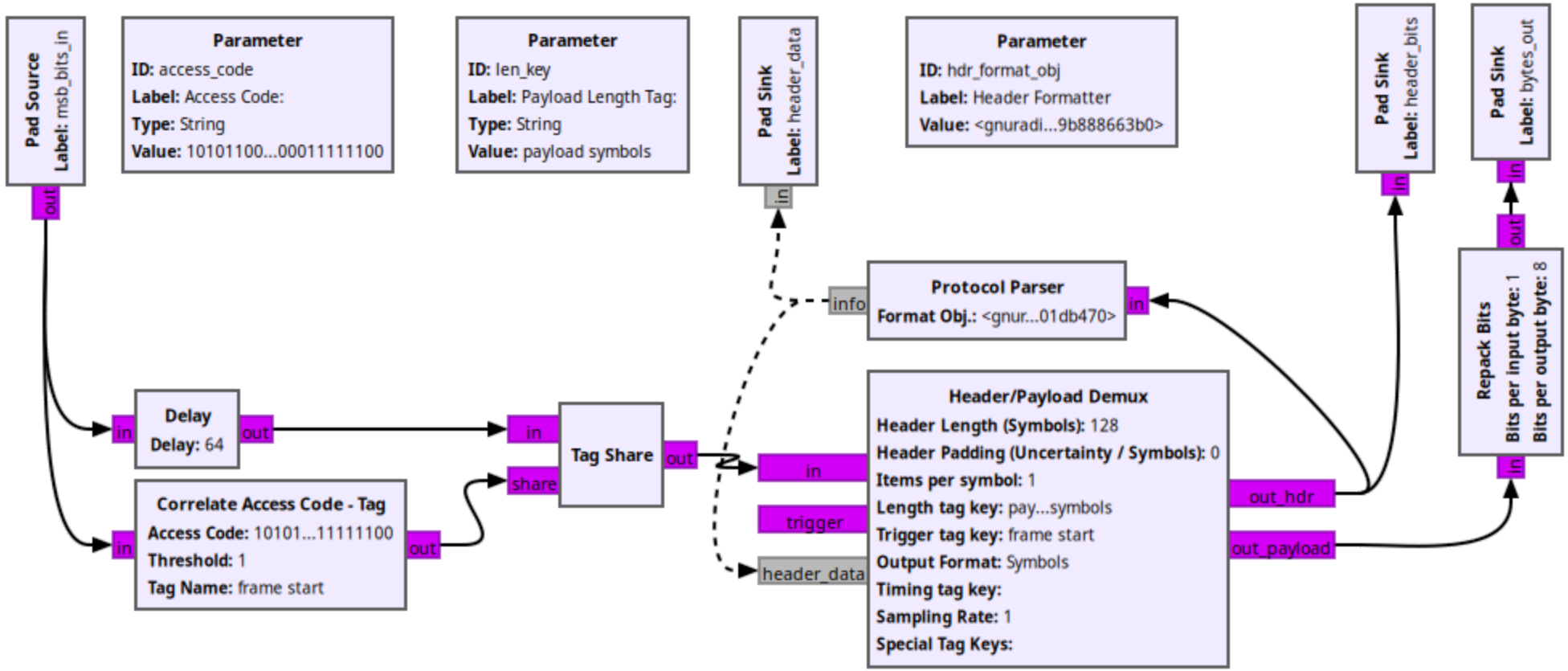
Moje bloki OOT, `Header Prepend`



Objaśnienie już było

Celem bloku jest tylko umożliwienie bardziej zwartej reprezentacji nadajnika.

Moje bloki OOT, `Header Sync & Parse`



Do poprawy! Zmienna `Access Code` powinna być pobrana z obiektu nagłówka `hdr_format_obj`.

Take away

Diagramy przepływu opracowano korzystając z poradnika Packet Communications znajdującego się w dokumentacji GnuRadio.

Wnioski

1. Podczas implementacji diagramów przepływu należy **pilnie** zwracać uwagę na uporządkowanie bitów:
   - bloki przeznaczone do pracy z danymi lokalnymi pracują na danych uporządkowanych zgodnie z architekturą systemu (w praktyce LSB),
   - bloki przeznaczone do pracy z danymi z sieci spodziewają się uporządkowania MSB.
     Nieprzestrzegając tej reguły odnosi się wrażenie, że niektóre bloki tajemniczo nie działają - patrz wnioski pod powołanym wyżej poradnikiem
2. Obsługa danych pakietowych wymaga zapoznania się ze interfejsem klasy Pythona *PMT*(Polymorphic Type) umożliwiającej enkapsulację różnych typów w tej samej strukturze.
3. Ramki/Pakiety są obsługiwane jako para PMT. Pierwszy element pary jest słownikiem zawierającym metadane w postaci `klucz->wartość`. Drugi element pary jest wektorem bajtów reprezentującym zawartość ramki.

Uznania

Prezentacja jest dostępna pod adresem https://pzktit.github.io/Ramki_w_Gnuradio/

Do jej przygotowania wykorzystano Marp for VS Code oraz wzorzec Marp PolSl Template.