

dr hab. inż. st. of. pokł. Lucjan Gucma  
dr inż. st. of. pokł. Maciej Gucma  
Michał Dobrowolski-Nełęcz

## Wybrane rozwiązania techniczne i elektroniczne systemu PNDS

słowa kluczowe: PNDS, dalmierz laserowy,

Artykuł przedstawia kluczowe aspekty techniczne związane z budową systemu PNDS. Omówiono zagadnienia transmisji wewnątrz systemu PNDS oraz budowy pojedynczego modułu pomiaru odległości DMLM (Distance Measurement Laser Module)

### Wstęp

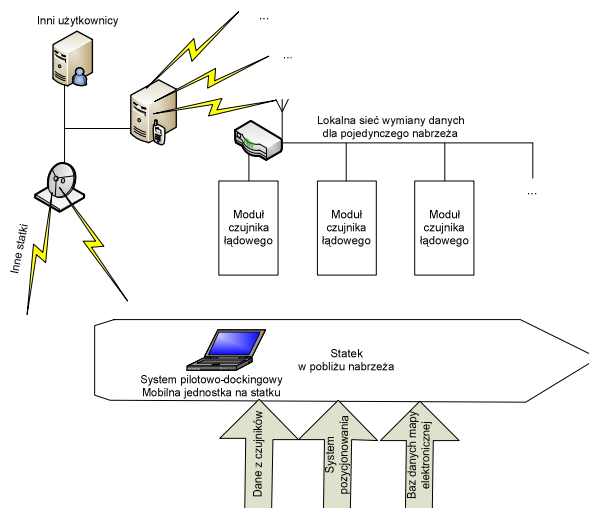
System PNDS (Pilot Navigation and Docking System) ze zdecentralizowanym systemem transmisji składa się z następujących elementów :

1. autonomicznego, lądowego czujnika pomiarowego, z głowicą laserową oraz modułem transmisji bezprzewodowej
2. łącza transmisyjnego opartego na technologii RF w częstotliwościach ISM,
3. przenośnego modułu pilotowego, wnoszonego na statek, zawierającego oprogramowanie wizualizacyjne, mapę oraz odpowiednie łącze transmisyjne do odbioru danych z sensorów lądowych.

Dla systemu scentralizowanego należy dodać następujące elementy:

1. sieć strukturalną pomiędzy czujnikami ( Ethernet),
2. serwer danych z czujników lądowych,
3. sieć routerów bezprzewodowych łączących się z użytkownikami.

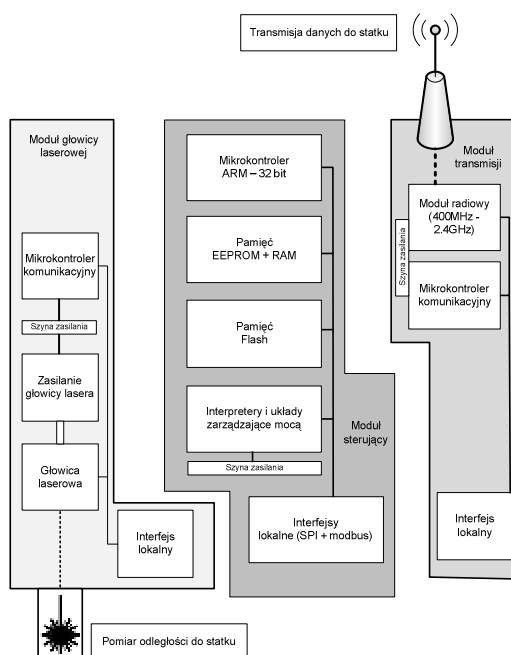
System taki przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Architektura systemu.

System w wersji scentralizowanej posiada następujące wady w stosunku do zdecentralizowanego: znikoma redundancja w przypadku uszkodzenia sieci strukturalnej, bądź serwera, większa komplikacja w budowie, znacznie większe koszty budowy i eksploatacji.

Ze strony sprzętowej kluczowym czynnikiem jest budowa i dokładność pracy laserowej głowicy skanującej. Wykorzystywane są tu lasery impulsowe He-Ne i lasery półprzewodnikowe złączowe (na studniach kwantowych), przy czym te drugie obecnie są stosowane najczęściej. Laser w trybie impulsowy mierzy odległość z dokładnościami do 3mm i dodatkowo poprzez pomiar fazy fali powracającej możliwy jest pomiar prędkości obiektu z dokładnością do 5mm/s. Architekturę rozwiązania pojedynczego DMLM przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2 Architektura pojedynczego elementu pomiarowego w wersji zdecentralizowanej.

## Pomiar odległości

Typowo realizacja pomiaru odległości jest realizowana przez minimum 2 czujniki DMLM w następujący sposób:

1. Pomiar dalmierzem laserowym odległości do kadłuba
2. Obróbka danych przez moduł DMLM
3. Przesłania danych do użytkownika (pilot, kapitan)
4. Wyświetlenie danych na wskaźniku systemu pilotowego

Pomiar trwa w zamkniętej pętli gdzie mierzona jest odległość do statku z częstotliwością od 4 do 17 kHz (zależnie od modułu dalmierza) następnie wyliczana jest prędkość statku, dane są pakowane w ramkę danych i wysyłane na statek do systemu pilotowego. Sam przesył jest realizowany z częstotliwością 1Hz/głowicę co daje pełny zestaw danych ze wszystkich głowic DMLM raz na sekundę. Zastosowane moduły dalmierzy:

- Laser Distance Meter LDM301,
- Laser Module MDL ILM300,
- RIEGL Series LD90-3.

Natomiast z urządzeń pracujących na falach milimetrowych wybrano głowicę: FMCW 94/10/x Millimeter Wave Distance Sensor.

### Laser Distance Meter LDM301

LMD301 jest laserem przeznaczonym do pomiaru odległości do obiektów zarówno stałych jak i poruszających się, którego dokładność wynosi 1 centymetr dla:

- powierzchni naturalnych ze współczynnikiem odbicia 90% w zakresie od 0,5 m do 300 m,
- powierzchni reflektora od 300 do 3000 m,
- pomiaru prędkości w zakresie od 0 do 100 m/s (w odległości 0,5 do 700 m).

Tabela 1. Parametry techniczne dalmierza Jenoptik.

Zasięg	0,5 m do 300m dla powierzchni naturalnych 0.5 m do 3000m dla
Dokładność	± 20 mm (dla 100 Hz) ± 60 mm (dla 2 kHz)
Rozdzielczość wartości pomiaru	1 mm
Czas pomiaru	Standardowy model: 0,5 ms Specjalny model: 0,1 ms
Zakres pomiaru prędkości	0 ms <sup>-1</sup> do 100 ms <sup>-1</sup>
Czas pomiaru prędkości	0,01 s (minimum)

## OEM Laser Module ILM MDL

Poniżej przedstawiono parametry modułu MDL

Tabela 2. Właściwości techniczne.

Laser	ILM R-300
Długość fali (nm)	905
Rozbieżność wiązki (mRad)	3,0 x 2,3
Zasięg bezreflektorowy (m)	2 – 300
Maksymalny zasięg (m)	1300
Dokładność (cm)	5
Rozdzielczość (cm)	1

## RIEGL Series LD90-3

Czujnik RIEGL LD90-3 opiera się na pomiarze „czasu lotu” (time-of-flight) krótkich impulsów lasera. Może on być stosowany właściwie dla każdego rodzaju powierzchni odbijającej, bez reflektora do kilkuset metrów, i do ponad 1000 m z folią odbijającą lub reflektorami.

## 94GHz Millimeter Wave Industrial Distance Sensor

FMCW 94/10/x Millimeter Wave Distance Sensor jest wysokiej dokładności radarem służącym do bezkontaktowego pomiaru odległości. Czujnik odległości wykorzystuje falę milimetrową FMCW (frequency-modulated continuous wave) i nie posiada takich wad jak radary laserowe, akustyczne czy mikrofalowe. Czujnik charakteryzuje wąska wiązka, która dobrze sprawdza się w zamkniętych przestrzeniach. Ponieważ radar wykorzystuje częstotliwość 94 GHz, równoważną długości fali 3 mm, sensor zapewnia doskonałe rozchodzenie się wiązki w kurzu i parze wodnej. Sensor odległości dobrze pracuje nawet w przypadku, gdy antena pokryta jest kurzem. Dzięki wąskiej wiązce sensor odległości może stworzyć dokładny profil powierzchni. Zasięg działania czujnika odległości wynosi 500 m.

Tabela 3. Specyfikacja FMCW 94/10 Distance Sensor

Rozdzielczość czujnika odległości	0.005 m
Zasięg	0.6 do 500 m
Główne średnice reflektora	300 do 600 mm
Moc nadajnika czyjnika odległości	10 mW
Częstotliwość pracy	94 GHz
Częstotliwość próbkowania	4096 punktów na 12.285 ms
Zakres danych	14 bits

## Transmisja danych w systemie

Zagadnienie dostępu do informacji z wielu czujników lądowych wymagało rozważenia:

1. konfiguracji systemu, pod kątem systemu transmisji;
2. metody modulacji transmisji;
3. metody dostępu do kanału dla poszczególnych stacji;
4. zapewnienia kontroli błędów.

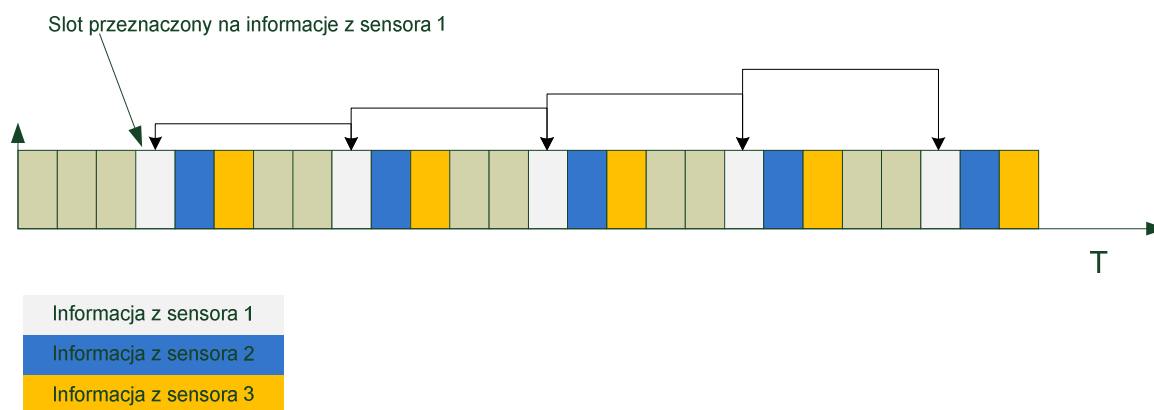
Wybór optymalnej konfiguracji systemu, pod kątem systemu transmisji opiera się na doborze pasma transmisji, czułości odbiornika, mocy nadajnika oraz szybkości z jaką odbywa się komunikacja bezprzewodowa. Zastosowano transmisję na pasmach 400-800MHz (pasma ISM prędkości w powietrzu do 9.6kbps) oraz 2.4 GHz (pasma ISM zakres dla WLAN, prędkości do 54Mbps). Przebadano dostępne częstotliwości oraz osiągnięte prędkości transmisji dla nich, pod kątem dostępności oraz potencjalnych zakłóceń.

Dobór metody modulacji jest kluczowy w systemach wielodostępu. Podstawą modulacją stosowaną obecnie jest GMSK. GMSK (ang. Gaussian Minimum Shift Keying) - jest to modulacja cyfrowa, polegająca na binarnym kluczowaniu częstotliwości z gaussovskim kształtowaniem impulsów przy ciągłej fazie. Jest to znacznie zmodyfikowana wersja modulacji FSK (Frequency Shift Keying). Zasada tworzenia GMSK zapewnia poprawę własności widmowych modulacji GMSK w porównaniu z pozostałymi modulacjami binarnymi. Aplikacja tej modulacji wymaga zastosowania mikroprocesora (32 bitowa architektura RISC/ARM), specjalizowanego układu interfejsowego, koherentnego toru nadawczo odbiorczego oraz układów interfejsowych lokalnych.

Metoda dostępu stacji do kanału radiowego miała kluczowe znaczenie ze względu na prędkość wymiany danych, szybkość odczytu z kolejnych czujników DMLM, zakłócenia interferencyjne oraz zapewnienie kontroli błędów. Ze względu na charakterystykę systemu konieczny jest wielodostęp do łącza. Wielodostęp w systemach telekomunikacyjnych umożliwia dużej liczbie użytkowników korzystanie z łącza o określonej, skończonej przepustowości. Przebadano następujące metody wielodostępu:

1. FDMA – Frequency Division Multiple Access – wielodostęp z podziałem częstotliwości
2. CDMA – Code Division Multiple Access – wielodostęp z podziałem kodowym
3. SDMA – Space Division Multiple Access – wielodostęp z podziałem przestrzennym
4. TDMA – Time Division Multiple Access – wielodostęp z podziałem czasowym

Ze względów wydajności zastosowano metodę TDMA (ang. Time Division Multiple Access - wielodostęp z podziałem czasowym) – cyfrowa technika transmisji pozwalająca wielu sensorom DMLM na dostęp do danego kanału fizycznego. Przydzielone pasmo jest podzielone na kanały w dziedzinie czasu - sloty czasowe. Poszczególne DMLM mogą nadawać na jednej częstotliwości w sposób ciągły z interwałami. Taki sposób organizacji transmisji pozwala na dynamiczny przydział zasobów odbiornik znając czas wystąpienia swojej szczeliny czasowej, DMLM może przechodzić w stan uśpienia w czasie pomiędzy swoimi slotami. Poglądowo przedstawiono to na rys 3. Wadą tego rozwiązania jest konieczność włączenia układu synchronizacji (stacji głównej) lub zapewnienie samoorganizacji sieci (metoda SOTDMA). W PNDS zastosowano obie te techniki, dodatkowo każda stacja może przejąć funkcję stacji głównej.



Rys. 3. Zasada przydziału slotów czasowych w TDMA

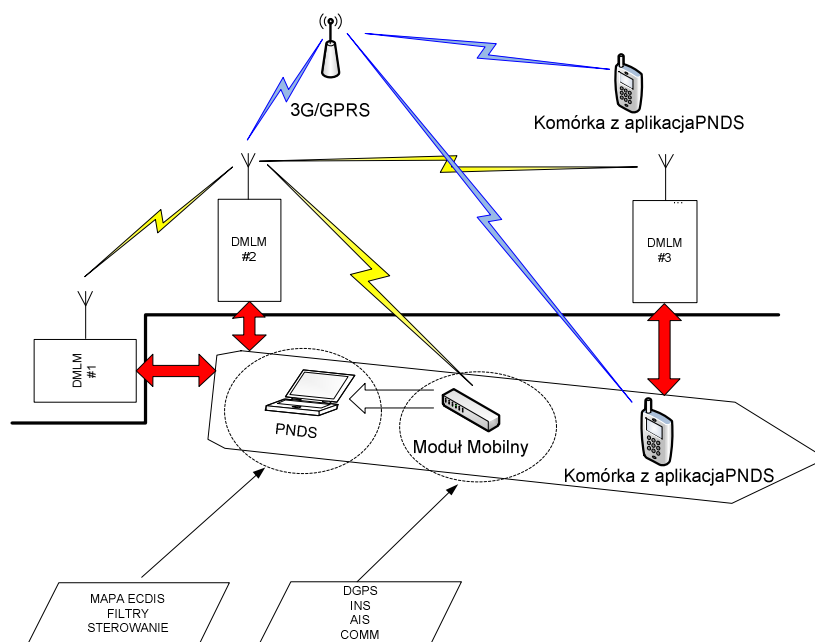
Kontrolę błędów zrealizowano na algorytmach z wielodostępem i rywalizacją pakietów. Wykorzystano protokół DFWMAC (ang. distributed foundation wireless medium access control) oparty na protokole MACA (ang. multiple access with collision avoidance). Stosuje on mechanizm handshakingu, czyli zapobiegania kolizjom przy pomocy ramek sterujących RTS i CTS. Nie prowadzi się w tym protokole wykrywania nośnej zatem każdy węzeł odbierający ramkę RTS przechodzi w stan blokady łącza na czas trwania wymiany danych.

### Mobilny Układ PNDS

Pilot w trakcie prowadzenia nawigacji zmuszony często jest korzystać z urządzeń znajdujących się na statku co może prowadzić do sytuacji braku wystarczającej ilości danych do bezpiecznego nawigowania oraz nieadekwatnej postaci tej informacji. Aby wyeliminować obydwie te niedogodności stosuje się nawigacyjne systemy pilotowe składające się z:

1. dedykowanego komputera PNDS – rugged (wzmocniony) tablet ze specjalizowanym oprogramowaniem oraz odpowiednimi łączami teletransmisyjnymi
2. modułu mobilnego zawierającego system pozycjonowania.

Moduł mobilny komunikuje się z czujnika DMLM poprzez łącze ISM i otrzymuje pełną ramkę danych. Następnie przesyła informacje o odległości oraz prędkości zbliżania do komputera PNDS dodając informacje o pozycji, kursie oraz innych parametrach nawigacyjnych. Dodatkowo w systemie przewidziano wysyłkę informacji do Internetu oraz ich odbiór poprzez GPRS lub sieć 3G. Całość przedstawiono na rysunku 4.

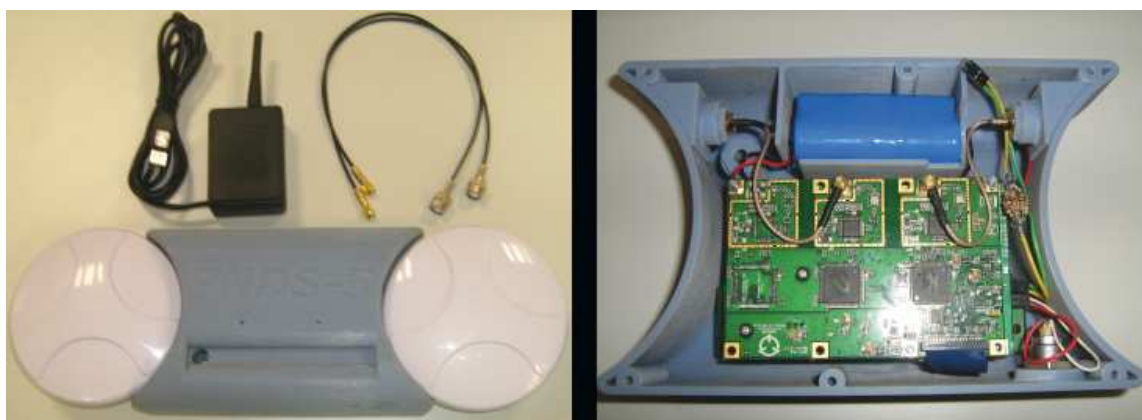


Rys. 4. Architektura pomiarowa z 3 czujnikami, systemem pilotowym oraz łączem komórkowym.

Moduł mobilny wnoszony przez pilota na statek składa się z:

- Modułu GPS Crescent Vector;
- Modułu odbiornika poprawek różnicowych typu SBX-4;
- Układu inercyjnego typu InteriaLink;
- Modemu radiowego pasma ISM.

Moduł przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Wygląd modułu mobilnego PNDS

