

CIEŚLIK Andrzej<sup>1</sup>  
SZELMANOWSKI Andrzej  
MILEWSKI Wiesław

### **PRZEGLĄD RODZAJÓW INTEGRACJI I STANDARDÓW TRANSMISJI DANYCH STOSOWANYCH W NAHELMOWYCH SYSTEMACH CELOWNICZYCH**

*W referacie przedstawiono wyniki przeprowadzonych w ITWL badań w zakresie etapów rozwoju zintegrowanych systemów awionicznych oraz standardów komunikacyjnych wykorzystywanych do ich integracji. W części ogólnej zaprezentowano charakterystykę i podział zintegrowanych systemów awionicznych. Podziału dokonano ze względu na: rodzaj integracji oraz standardy przesyłu informacji pomiędzy blokami systemu awionicznego. Ze względu na rodzaj integracji omówiono m.in. systemy z analogowym przesyłaniem sygnałów, z cyfrowym przesyłaniem sygnałów, zintegrowane cyfrowo oraz zintegrowane modułowo. W części szczegółowej zaprezentowano następujące protokoły przesyłu danych: ARINC 429, MIL-STD-1553B, STANAG-3910, Hi-Per 1553, AFDX, Ethernet. Realizacja tego tematu została przyjęta do finansowania przez MNiSzW w ramach projektu badawczego rozwojowego.*

### **REVIEW OF TYPES OF INTEGRATION AND DATA TRANSMISSION STANDARDS AS APPLIED IN THE HELMET-MOUNTED CUEING SYSTEMS**

*The paper has been intended to present results of the AFIT-conducted studies on the progress in types of architecture of the integrated avionics systems and data transmission standards applied to integrate them. Some selected types of the integrated avionics systems, i.e. the distributed analogue architecture, the distributed digital architecture, the federated digital architecture, and the integrated modular (also digital) architecture have been discussed in "Generalities". In the part on the particularities, presented are some selected analyses and short descriptions of data transmission standards used in the integration of avionics: ARINC 429, MIL-STD-1553B, STANAG-3910, Hi-Per 1553, AFDX, Ethernet. This project has been financed by the Ministry of Science & Higher Education of Poland as a scientific research and development project (R&D).*

---

<sup>1</sup> Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Zakład Awioniki, 01-494 Warszawa, ul. Księcia Bolesława 6.  
Tel.: + 48 22 685-12-05, 685-10-43, Fax: + 48 22 685-10-43, E-mail: andrzej.cieslik@itwl.pl

## 1. WSTĘP

Systemy awioniczne współczesnych statków powietrznych składają się z wielu podsystemów. Zespolecie podsystemów w jeden system spełniający wymagania stawiane danemu typowi statku powietrznego nosi nazwę integracji systemu awionicznego. Powstały w ten sposób system nosi nazwę zintegrowanego systemu awionicznego. Pierwszym krokiem do opracowania zintegrowanego systemu awionicznego była opracowana w połowie lat 50. koncepcja wykonania systemu uzbrojenia. Polegała ona na opracowaniu systemów zwiększających efektywność lotu oraz zwiększających prawdopodobieństwo wykonania zadania przez załogę. Skutkiem podjętych prac było pojawienie się w latach 60. nowej generacji statków powietrznych ze zintegrowanymi systemami awioniki i uzbrojenia.

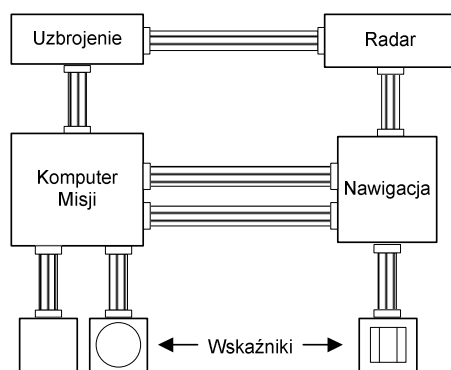
Następnym ważnym powodem powstania zintegrowanych systemów awionicznych była możliwość wykorzystania pewnych urządzeń pokładowych, które mogły być wspólne dla wielu podsystemów statku powietrznego. Przykładem są monitory wielofunkcyjne, wskaźniki przeziernie HUD, które mogą pokazywać zobrazowanie danych wielu podsystemów. Korzyścią wynikającą z takiego rozwiązania jest zmniejszenie wagi wyposażenia montowanego na pokładzie statku powietrznego, co może być wykorzystane m.in. do zwiększenia masy uzbrojenia. Zintegrowane Systemy Awioniczne pojawiły się jako naturalne następstwo wzajemnego przenikania się systemów statku powietrznego.

## 2. RODZAJE ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW AWIONICZNYCH

Zintegrowane systemy awioniczne [6] ze względu na sposób połączeń pomiędzy blokami elektronicznymi i rodzaj przesyłanych informacji obejmuje:

- systemy z analogowym przesyłaniem sygnałów;
- systemy z cyfrowym przesyłaniem sygnałów;
- systemy zintegrowane cyfrowo;
- systemy zintegrowane modułowo.

Schemat architektury systemu awionicznego z analogowym przesyłaniem sygnałów przedstawiono na rys.1.

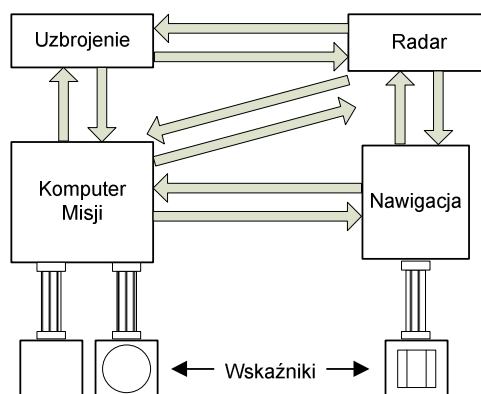


Rys.1. Schemat architektury systemu z analogowym przesyłaniem sygnałów

Wszystkie bloki elektroniczne, czujniki, elementy sterujące, wyświetlacze połączone są pomiędzy sobą za pomocą wiązek kablowych, po których przesyłane są sygnały analogowe; nie ma wyróżnionej szyny danych. Rezultatem takiej architektury jest duża liczba i waga okablowania montowanego na pokładzie statku powietrznego. Z tego względu systemy te były bardzo trudne do modyfikacji.

Systemy te są charakterystyczne dla statków powietrznych produkowanych w latach 1950. – 1960. Wykorzystywane są do dnia dzisiejszego, np. w statkach powietrznych: *Boeing 707*, *VC10*, *BAC 1-11*, *DC-9* oraz wczesna wersja *Boeinga 737s*.

Powstanie komputerów cyfrowych doprowadził do ich wykorzystania na pokładzie statków powietrznych. W początkowym okresie były one stosunkowo duże, ciężkie, miały małą i ograniczoną pamięć oraz były trudne do programowania. Ich podstawową przewagą nad komputerami analogowymi była: duża szybkość obliczeń, stabilność obliczeń, brak szumów i dryftów. Schemat systemu awionicznego z cyfrowym przesyłaniem sygnałów przedstawiono na rys.2.

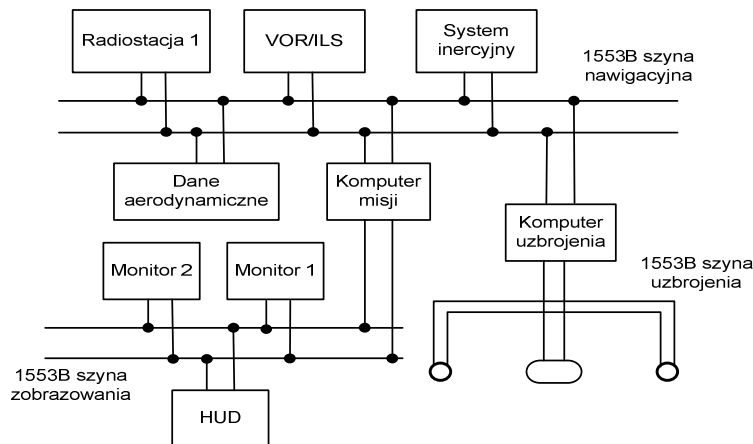


Rys.2. Schemat architektury systemu z cyfrowym przesyłaniem sygnałów

Pojawienie się cyfrowych szeregowych standardów przesyłu danych – ARINC 429 (cywilne) oraz Tornado (wojskowe) – wykorzystano do przesyłu informacji pomiędzy blokami systemu. W tym typie architektury bloki elektroniczne, czujniki, elementy sterujące, wyświetlacze połączone są – w zależności od potrzeb – pomiędzy sobą za pomocą wiązek kablowych, po których przesyłane są sygnały cyfrowe; nie ma wyróżnionej szyny danych.

Opisywany typ systemów był charakterystyczny dla statków powietrznych produkowanych w latach 70. Przykładami wojskowych i cywilnych statków powietrznych w tej kategorii są wojskowe: *Jaguar*, *Nimrod MR2*, *Tornado*, *Sea Harrier*, *Boeing 737*, *Boeing 767*, *Bombardier Global Express*.

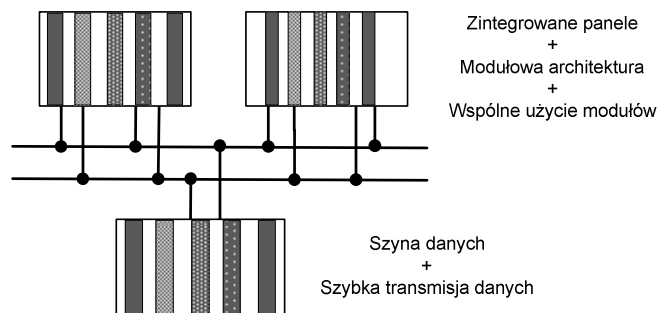
Opracowanie w latach 80. cyfrowego standardu przesyłu informacji MIL-STD-1553B zapoczątkowało pojawienie się architektury systemów awionicznych zintegrowanych cyfrowo (rys.3.). Cechą charakterystyczną tego standardu jest centralna magistrala danych do której podłączone są bloki wyposażenia elektronicznego.



Rys.3. Schemat architektury systemów awionicznych zintegrowanych cyfrowo

Pojawienie się standardu MIL-STD-1553B doprowadziło do unifikacji wyposażenia elektronicznego montowanego na pokładzie statków powietrznych. Przykładami wojskowych statków powietrznych w tej kategorii są: *F-16*, *SAAB Gripen*, *Boeing AH-64 C/D* itd.

Systemy zintegrowane modułowo powstały na bazie standardowo produkowanych modułów elektronicznych, dopuszczonych do użycia na pokładach statków powietrznych. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest opracowanie i wykonanie w krótkim czasie prototypów zaawansowanych konstrukcji elektronicznych. Schemat architektury zintegrowanej modułowo przedstawiono na rys.4.



Rys.4. Schemat architektury systemów awionicznych zintegrowanych modułowo

Wykorzystanie rozwiązań komercyjnych do celów wojskowych umożliwia:

- zwiększenie prędkości transmisji szyn danych z 1Mbit/s do 1Gbit/s dzięki zastosowaniu technologii *Ethernet* oraz technologii optycznych;
- wykorzystanie wieloplatformowego oprogramowania i podział oprogramowania na warstwę sprzętową oraz warstwę aplikacyjną. Daje

to możliwość łatwego przenoszenia oprogramowania pomiędzy różnymi platformami sprzętowymi;

- wykorzystanie procesorów sygnałowych do cyfrowego przetwarzania sygnałów w urządzeniach pracujących w czasie rzeczywistym, jak: radary, obrona radioelektroniczna itd.

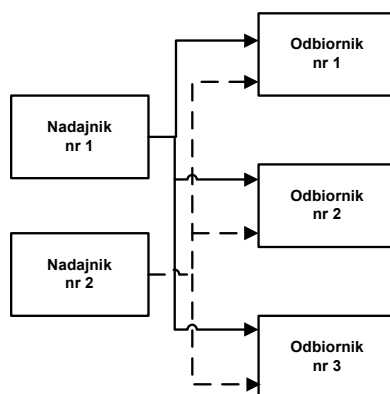
Architektura ta jest charakterystyczna dla konstrukcji z lat 90, dla których prace koncepcyjne rozpoczęto w latach 70. i 80. Przykładami statków powietrznych w tej kategorii są: *F-22 Raptor*, morski taktyczny samolot *A-12 Avenger* (projekt zakończony w 1990 r.), śmigłowiec LHX, później przekształcony w *RAH-66 Comanche*.

### 3. PODSTAWOWE STANDARDY TRANSMISJI DANYCH W INTEGRACJI

Cyfrowe standardy transmisji danych wpłynęły zasadniczo na zastosowanie elektroniki cyfrowej w zintegrowanych systemach awionicznych. W początkowym okresie cyfrowe szyny danych charakteryzowały się: transmisją jednokierunkową (*half-duplex*), typu „punkt do punktu”, z wolną prędkością transmisji nieprzekraczającą 100 kbit/s. Kolejne generacje cyfrowych standardów transmisyjnych wykorzystywały już transmisje dwukierunkową (*full-duplex*), z centralną magistralą danych, po której były przesyłane dane z prędkościami od 1 do 10 Mbit/s.

Cyfrowymi standardami transmisji specjalnie dedykowanymi do zastosowań w lotnictwie są: ARINC 429, MIL-STD-1553B, HIGH SPEED 1553, STANAG 3910, GigaBit Ethernet, AFDX (ARINC 644), FC-AE-ASM, Raw Mode.

Standard szyny ARINC 429 działa na zasadzie „jeden nadajnik do wielu odbiorników”. Każdy z odbiorników odbiera tę samą informację w tym samym czasie. Standard przewiduje, że do jednego nadajnika może być podłączonych maksymalnie 20 odbiorników. Schemat topologii połączeń przedstawiono na rys. 5.

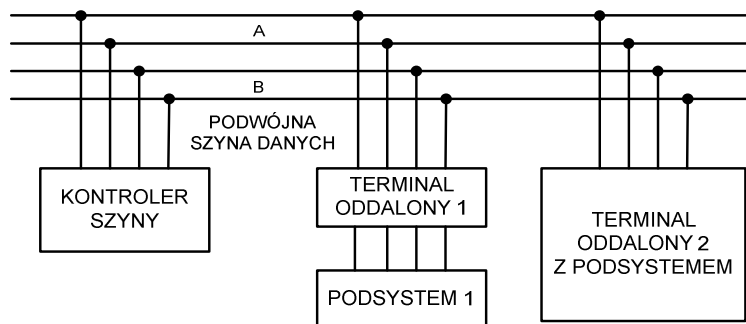


Rys.5. Schemat topologii połączeń systemów zintegrowanych w standardzie ARINC 429

W standardzie ARINC 429 przewiduje się transmisję jednokierunkową – po jednej parze przewodów odbywa się transmisja tylko w jednym kierunku. Wprowadzenie

transmisji dwukierunkowej wymaga wprowadzenia dodatkowych kanałów komunikacyjnych w postaci wiązek kablowych. W standardzie przewiduje się dwie prędkości transmisji: wolna 12,5 kbit/s oraz szybka 100 kbit/s. Informacja jest wysyłana w postaci pojedynczych 32-bitowych słów.

Następnym standardem jest tzw. szyna MIL-1553B. Standard MIL-STD-1553B [2, 7] został opracowany na przełomie lat 1968-1978. W roku 1973 opublikowano pierwszą wersję standardu MIL-STD-1553, dalszym rozwinięciem tego standardu był opublikowany w 1975 roku standard MIL-STD-1553A, a następnie wprowadzony w 1978 roku standard MIL-STD-1553B. Wprowadzono centralną szynę danych po której odbywa się dwukierunkowa transmisja. Szyna danych standardu składa się z dwóch niezależnych par przewodów wykonanych w postaci ekranowanej skrętki (każda para). Każda para przewodów jest niezależnym kanałem transmisji danych co znacznie podnosi redundancję projektowanego systemu. Podstawowy schemat topologii sieci standardu MIL-STD-1553B przedstawiono na rys.6.



Rys.6. Schemat topologii połączeń systemów zintegrowanych w standardzie MIL-1553B

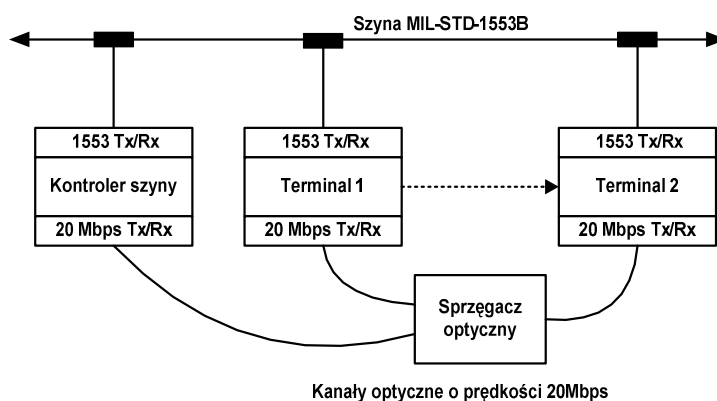
MIL-STD-1553B jest standardem przepływu informacji typu „zapytanie-odpowieź”. Każda transmisja danych na szynie jest inicjowana za pomocą kontrolera szyny (Bus Controller - BC). W danej chwili czasowej na szynie może znajdować się tylko jeden aktywny kontroler szyny komunikujący się maksymalnie z 31 terminalami (Remote Terminal - RT).

Dane transmitowane są asynchronicznie z prędkością 1 Mbit/s. Po szynie przesyłane są paczki danych w postaci 16-bitowych słów kodowanych w kodzie Manchester. Maksymalnie w jednym komunikacie można przesłać 32 słowa. Słowa danych mogą być formatowane jako: rozkazy, statusy, dane.

Poważnym problemem stała się możliwość zwiększenia prędkości transmisji danych w statkach powietrznych wykorzystujących standard MIL-STD-1553B [3]. Wiąże się to głównie z kosztami związanymi z koniecznością wymiany istniejącego okablowania. Powstała koncepcja zwiększenia prędkości transmisji na magistrali danych z wykorzystaniem istniejącego okablowania. W koncepcji tej, na magistrali danych funkcjonowałyby dwie prędkości transmisji: prędkość podstawowa 1 Mbit/s (obsługująca istniejące urządzenia) oraz prędkość nowa (znacznie wyższa) obsługująca nowe urządzenia. Przykład takiego rozwiązania (standard Hi-per 1553) został zaprezentowany w 2005 r.

przez firmę Data Device Corporation na przykładzie systemu awionicznego samolotu *F-15*. W zmodernizowanym systemie zademonstrowano przesyłanie komunikatów z prędkościami 40 Mbit/s i 1 Mbit/s. W próbach laboratoryjnych uzyskano odpowiednio 150 Mbit/s z jednoczesnym 1 Mbit/s oraz 200 Mbit/s bez 1 Mbit/s.

Połączenie transmisji danych 1 Mbit/s oferowanej przez standard MIL-STD-1553B z szybką transmisją danych wykorzystano w standardzie STANAG 3910. Szybka transmisja danych (20 Mbit/s) odbywa się poprzez łącza optyczne połączone pomiędzy sobą za pomocą sprzęgacza optycznego. Standard MIL-STD-1553B pełni rolę nadzorczą nad szybką transmisją danych. Sygnały cyfrowe kodowane są z użyciem kodu *Manchester*. Podobnie jak w standardzie 1553B, kontroler szyny pełni rolę nadzorczą nad transmisją. Architekturę systemu przedstawiono na rys.7.



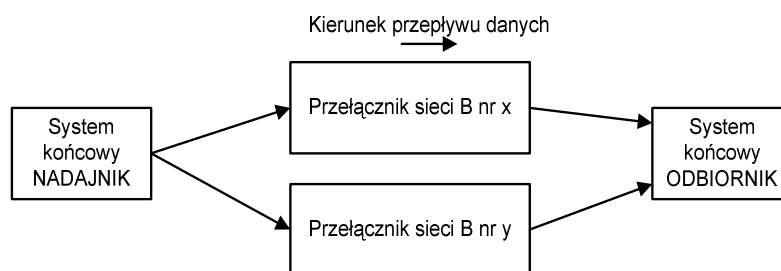
Rys.7. Schemat topologii połączeń systemów według standardu STANAG 3910

Dzięki zastosowaniu optycznego przesyłu danych zwiększono 20 razy prędkość transmisji w stosunku do standardu MIL-STD-1553B. Zwiększono również maksymalny rozmiar komunikatu do bloku 132 słów 32-bitowych (standard MIL-STD-1553B, maksymalny blok 32 słowa 16-bitowe).

Standard Gigabit Ethernet jest standardem rozwiniętym na bazie standardu 10/100/1000 Mbit/s *Ethernet* [5] który jest w chwili obecnej podstawowym standardem używanym w komercyjnych sieciach komputerowych. Do zastosowań wojskowych GigaBit Ethernet wykorzystywany jest do komunikacji sieciowej wewnątrz bloków elektroniki oraz pomiędzy komputerami, czujnikami, wyświetlaczami, koncentratorami danych. Według uzyskanych informacji, w przyszłości, przewiduje się zwiększenie prędkości transmisji danych dla tego standardu do 10 Gbit/s.

Adaptacją standardu 10/100/1000 Ethernet dla potrzeb lotnictwa jest standard ARINC 664 lub *Avionics Full Duplex Switched Ethernet (AFDX)*. Definiuje on założenia dla pokładowych sieci wykorzystywanych do przesyłania danych pomiędzy czujnikami, wyświetlaczami, komputerami itd. cywilnych statków powietrznych [5]. Elementami podstawowymi standardu AFDX są: przełączniki sieci, systemy końcowe. Przełączniki sieci wykorzystywane są do połączenia okablowania sieci pokładowej. Systemy końcowe natomiast pełnią rolę interfejsu pomiędzy podsystemami awionicznymi a siecią AFDX.

W sieci AFDX są ściśle zdefiniowane opóźnienia systemu końcowego podczas wysyłania i odbierania danych oraz opóźnienia wnoszone przez przełączniki sieci. Redundancję sieci zapewniono dzięki wprowadzeniu protokołu komunikacyjnego polegającego na wysłaniu każdej informacji w dwóch niezależnych kanałach transmisyjnych (rys.8.).



Rys.8. Schemat topologii połączeń systemów według standardu AFDX

Informacja jest przekazywana do odbiornika poprzez różne przełączniki sieci. Akceptowana przez odbiornika jest pierwsza ważna odebrana informacja, natomiast druga (ta sama z drugiego kanału) jest usuwana. Dzięki temu zapewniono dużą niezawodność przesyłu informacji w środowisku dużych zakłóceń, jakim jest pokład statku powietrznego.

#### 4. PODSUMOWANIE

Rozwój nowoczesnych technologii elektronicznych, wyposażenia awionicznego i sposobu przesyłu informacji wprowadził nowe możliwości dotyczące integracji systemów awionicznych, od systemów zintegrowanych analogowo poprzez integrację cyfrową aż do systemów zintegrowanych modułowo.

Dwa ostatnie sposoby integracji wykorzystują nowoczesne cyfrowe protokoły przesyłu informacji takie jak: MIL-STD-1553B, ARINC 429, STANAG 3910, AFDX (ARINC 664). Powyższe protokoły oferują prędkości przesyłu informacji od 100 kBit/s (ARINC 429) do 1-2 GBit/s (AFDX). Istnieje pomiędzy nimi podział na wykorzystywane w lotnictwie cywilnym (ARINC 429, AFDX) oraz w lotnictwie wojskowym (MIL-STD-1553B, HIGH SPEED 1553, STANAG 3910).

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Materiały reklamowe: *AFDX protocol tutorial*, Condor Engineering, Inc. 2005.
- [2] DDC-Corporation : *MIL-STD-1553 designer's guide*, ILC Data Device Cor. 1998.
- [3] Glass M.: *Buses and networks for contemporary avionics*, ILC Data Device Cor. 2007.
- [4] Glass M.: *How fibre channel can be enabled to meet military-specific requirement*, High Availability & Reliability, September 2005.
- [5] Hegarty M.: *Avionics networking technology*. ILC Data Device Cor. 2005.
- [6] Moir I., Seabridge A.: *Military avionics system*. John Wiley & Sons 2006.
- [7] Materiały reklamowe: *MIL-STD-1553B Tutorial*, Condor Engineering, Inc. 2005.