

Andrzej CIEŚLIK
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

RODZAJE INTEGRACJI I STANDARDY TRANSMISJI DANYCH ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW AWIONICZNYCH

W artykule dokonano charakterystyki i podziału zintegrowanych systemów awionicznych ze względu na rodzaj integracji oraz standardy przesyłu informacji pomiędzy blokami systemu awionicznego. Uwzględniając rodzaj integracji, omówiono systemy: z analogowym przesyłaniem sygnałów, z cyfrowym przesyłaniem sygnałów, zintegrowane cyfrowo, zintegrowane modułowo. Zaprezentowano protokoły przesyłu danych: ARINC-429, MIL-STD-1553B, STANAG-3910, Hi-Per 1553, AFDX, Ethernet.

Wstęp

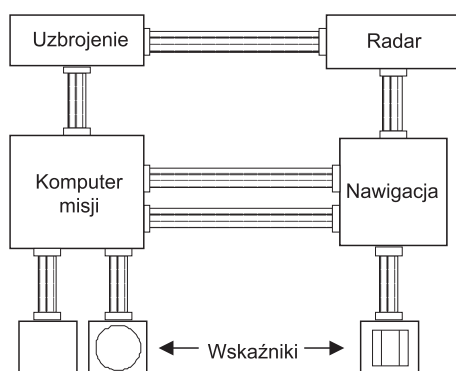
Systemy awioniczne współczesnych statków powietrznych składają się z wielu podsystemów. Zespolenie podsystemów w jeden system, spełniający wymagania stawiane danemu typowi statku powietrznego, określa się jako integracja systemu awionicznego. Powstały w ten sposób system nosi nazwę zintegrowanego systemu awionicznego. Pierwszym krokiem w opracowaniu zintegrowanego systemu awionicznego była (połowa lat 50.) koncepcja wykonania systemu uzbrojenia. Polegała ona na opracowaniu systemów zwiększających efektywność lotu oraz prawdopodobieństwo wykonania zadania przez załogę. Rezultatem 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 mogłyby być wspólne dla wielu podsystemów statku powietrznego. Przykładem są monitory wielofunkcyjne oraz wskaźniki przeziernie HUD, które mogą zobrazować dane 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 są naturalnym następstwem wzajemnego przenikania się systemów statku powietrznego.

1. Rodzaje zintegrowanych systemów awionicznych

Zintegrowane systemy awioniczne ze względu na sposób połączeń pomiędzy blokami elektronicznymi i rodzaj przesyłanych informacji obejmują [7]:

- 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. Wszystkie bloki elektroniczne, czujniki, elementy sterujące, wyświetlacze połączone są 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. Omówione systemy są charakterystyczne dla statków powietrznych produkowanych w latach 1950-1960 i wykorzystywane są do dziś, np. w statkach powietrznych Boeing 707, VC10, BAC 1-11, DC-9 oraz wczesnej wersji Boeinga 737s.

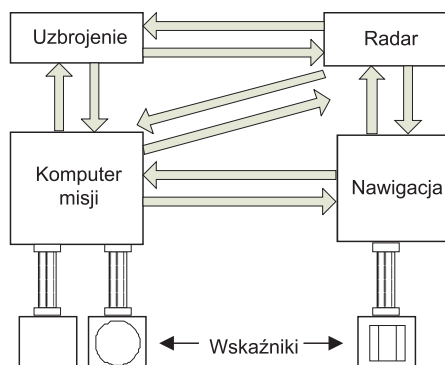


Rys.1. System z analogowym przesyłaniem sygnałów

Powstanie komputerów cyfrowych doprowadziło do ich zastosowania na pokładzie statków powietrznych. W początkowym okresie były one stosunkowo duże, ciężkie, miały małą i ograniczoną pamięć oraz były trudne do programowania. W porównaniu z komputerami analogowymi cechowały się dużą szybkością i stabilnością obliczeń oraz brakiem szumów i dryftów. Schemat systemu awionicznego z cyfrowym przesyłaniem sygnałów przedstawiono na rys. 2.

Cyfrowe szeregowo standardy przesyłu danych – ARINC 429 (cywilne) oraz Tornado (wojskowe) – wykorzystano do przesyłu informacji pomiędzy blokami systemu. W architekturze tego typu bloki elektroniczne, czujniki, ele-

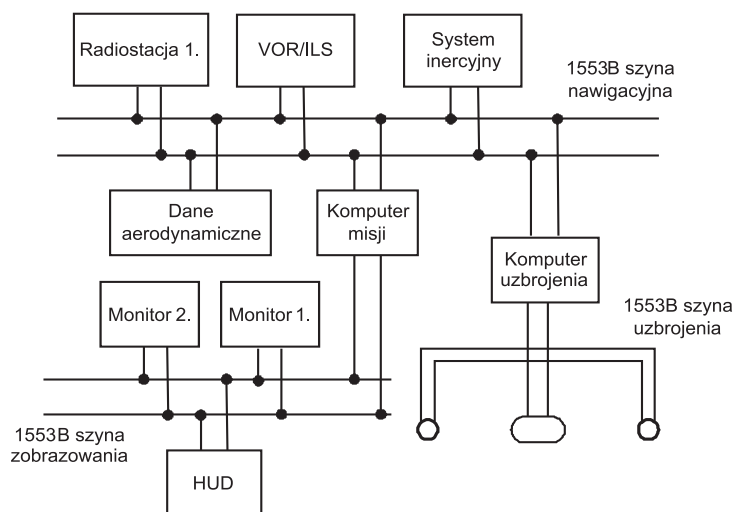
menty sterujące, wyświetlacze połączone są – w zależności od potrzeb – za pomocą wiązek kablowych, po których przesyłane są sygnały cyfrowe; nie ma wyróżnionej szyny danych.



Rys. 2. System z cyfrowym przesyłaniem sygnałów

Opisywany typ systemów był charakterystyczny dla statków powietrznych produkowanych w latach 70. Przykładami wojskowych i cywilnych statków powietrznych w tej kategorii są: 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 stan-



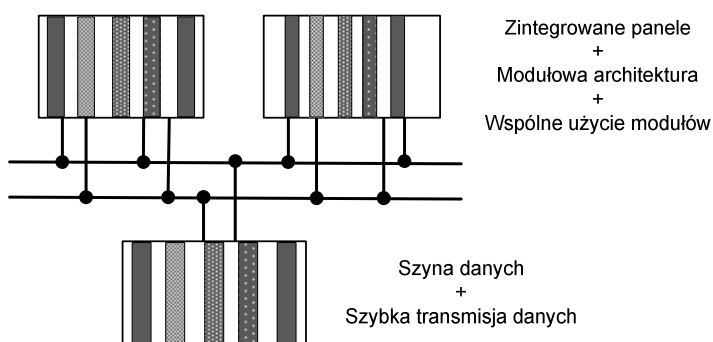
Rys. 3. System zintegrowany cyfrowo

dardu jest centralna magistrala danych, do której podłączone są bloki wyposażenia elektronicznego.

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.

Systemy zintegrowane modułowo oparte są na standardowo produkowanych modułach elektronicznych, dopuszczonych do użycia na pokładach statków powietrznych. Rozwiązanie to umożliwia opracowanie i wykonanie w krótkim czasie prototypów zaawansowanych konstrukcji elektronicznych. Schemat architektury zintegrowanej modułowo przedstawiono na rys. 4. Wykorzystanie rozwiązań komercyjnych do celów wojskowych umożliwia:

- zwiększenie prędkości transmisji szyn danych z 1 Mbit/s do 1 Gbit/s dzięki zastosowaniu technologii Ethernet oraz technologii optycznych,
- wykorzystanie wieloplatformowego oprogramowania oraz podział oprogramowania na warstwę sprzętową i warstwę aplikacyjną, co z kolei pozwala na łatwe przenoszenie oprogramowania pomiędzy różnymi platformami sprzętowymi,
- wykorzystanie procesorów sygnałowych do cyfrowego przetwarzania sygnałów w urządzeniach pracujących w czasie rzeczywistym, jak radary, obrona radioelektroniczna itd.



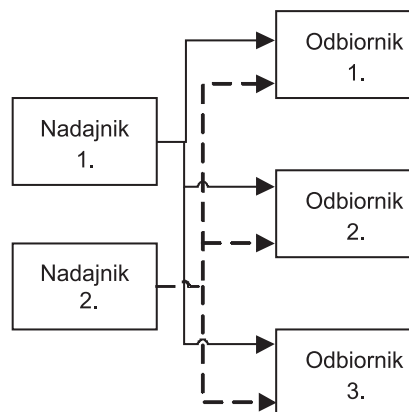
Rys. 4. System zintegrowany modułowo

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.

2. Podstawowe standardy transmisji danych zintegrowanych systemów awionicznych

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 transmisję dwukierunkową (*full-duplex*), z centralną magistralą danych, po której były przesyłane dane z prędkościami od 1 do 10 Mbit/s [3].

Cyfrowymi standardami transmisji specjalnie przeznaczonymi do zastosowań w lotnictwie są: ARINC-429, MIL-STD-1553B, Hi-Per1553, STANAG-3910, GigaBit Ethernet, AFDX (ARINC-644). 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.

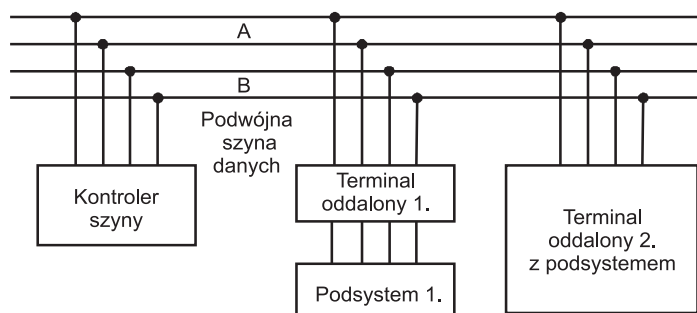


Rys. 5. Topologia połączeń standardu ARINC-429

W standardzie ARINC-429 przewiduje się transmisję jednokierunkową – transmisja odbywa się po jednej parze przewodów tylko w jednym kierunku. Transmisja dwukierunkowa wymaga wprowadzenia dodatkowych kanałów komunikacyjnych w postaci wiązek kablowych. W standardzie przewiduje się dwie prędkości transmisji: wolną – 12,5 kbit/s oraz szybką – 100 kbit/s. Informacja jest wysyłana w postaci pojedynczych 32-bitowych słów.

Standard MIL-STD-1553B [2, 6] został opracowany na przełomie lat 1968-1978. W 1973 roku opublikowano pierwszą wersję standardu MIL-STD-1553. Dalszym jego rozwinięciem był opublikowany w 1975 r. standard MIL-STD-1553A, a następnie wprowadzony w 1978 standard MIL-STD-1553B. Wprowa-

dzono 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. Topologia sieci standardu MIL-STD-1553B

MIL-STD-1553B jest standardem przepływu informacji typu „zapytanie–odpowiedź”. 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. W jednym komunikacie można przesłać maksymalnie 32 słowa. Słowa danych mogą być formatowane jako: rozkazy, statusy, dane.

Zwiększenie prędkości transmisji danych w statkach powietrznych wykorzystujących standard MIL-STD-1553B [3] wymagało wymiany istniejącego okablowania. Działania te wiązały się jednak z wysokimi kosztami. Powstała więc 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.

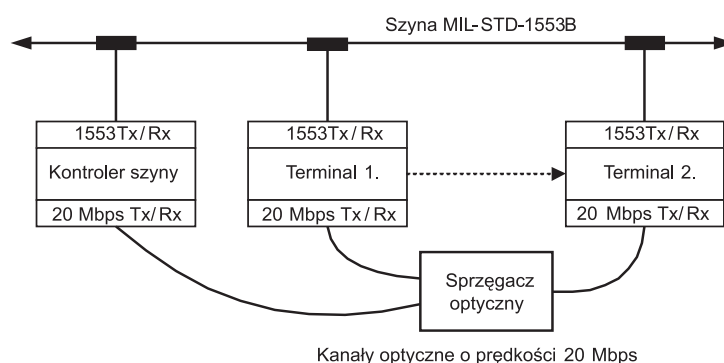
Rozwiązanie takie (Hi-Per 1553) zostało zaprezentowane w 2005 r. przez firmę Data Device Corporation na przykładzie systemu awionicznego samolotu F-15. W zmodernizowanym systemie zademonstrowano przesyłanie komunikatów z prędkościami 1 Mbit/s i 40 Mbit/s. W próbach laboratoryjnych uzyskano odpowiednio 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 powiązane za pomocą sprzęgacza optycznego [4]. Standard MIL-STD-1553B pełni rolę nadzorczą nad szybką transmisją danych. Sygnały cyfrowe są kodowane z użyciem kodu Manchester. Podobnie jak w standardzie 1553B, kontroler szyny pełni rolę nadzorczą nad transmisją. Architekturę systemu przedstawiono na rys. 7.

Zastosowanie optycznego przesyłu danych umożliwiło 20-krotne zwiększenie prędkości transmisji w stosunku do standardu MIL-STD-1553B. Zwiększono również maksymalny rozmiar komunikatu do bloku 132 słów 32-bitowych (w standardzie MIL-STD-1553B maksymalny blok składa się z 32 słów 16-bitowych).

Standard Gigabit Ethernet jest rozwinięciem standardu 10/100/1000 Mbit/s Ethernet [5]. Jest on obecnie podstawowym standardem używanym w komercyjnych sieciach komputerowych. W zastosowaniach wojskowych GigaBit Ethernet wykorzystywany jest do komunikacji sieciowej wewnątrz bloków elektroniki oraz pomiędzy komputerami, czujnikami, wyświetlaczami, koncentratorami danych. W przyszłości przewiduje się zwiększenie prędkości transmisji dla tego standardu do 10 Gbit/s.

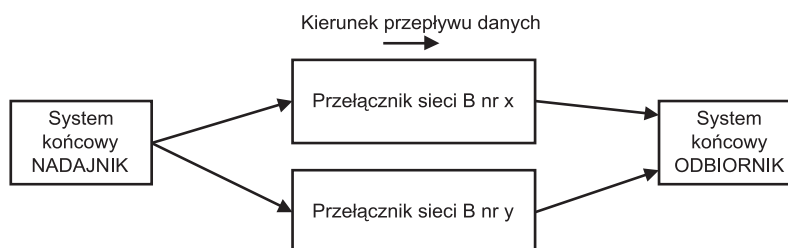
Adaptacją standardu 10/100/1000 Ethernet na potrzeby lotnictwa jest standard ARINC 664 lub Avionics Full Duplex Switched Ethernet (AFDX) [1]. Definiuje on założenia dla pokładowych sieci wykorzystywanych do przesyłania danych pomiędzy czujnikami, wyświetlaczami, komputerami itd. cywilnych statków powietrznych [5].



Rys. 7. STANAG-3910 – architektura

Elementami podstawowymi standardu AFDX są przełączniki sieci i systemy końcowe. Przełączniki sieci wykorzystywane są do łączenia okablowania sieci pokładowej. Systemy końcowe pełnią rolę interfejsu pomiędzy podsystemami.

mami awionicznymi a siecią AFDX. W sieci AFDX sę ścięle zdefiniowane opóźnienia systemu końcowego podczas wysyłania i odbierania danych oraz opóźnienia wnoszone przez przełączniki sieci. Redundancję sieci zapewniono poprzez wprowadzenie protokołu komunikacyjnego polegającego na wysyłaniu każdej informacji w dwóch niezależnych kanałach transmisyjnych (rys. 8.).



Rys. 8. Sposób przesyłania informacji w standardzie AFDX

Informacja jest przekazywana do odbiornika poprzez różne przełączniki sieci. Pierwsza ważna odebrana informacja jest akceptowana przez odbiornik, natomiast druga (ta sama z drugiego kanału) jest usuwana. Zapewnia to dużą niezawodność przesyłu informacji w środowisku dużych zakłóceń, jakim jest pokład statku powietrznego.

3. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano charakterystykę i podział zintegrowanych systemów awionicznych. Podziału dokonano ze względu na rodzaj integracji i standard przesyłu informacji pomiędzy elementami systemu awionicznego. 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). Protokoły te oferują prędkości przesyłu informacji od 100 kBit/s (ARINC-429) do 1-2 GBit/s (AFDX). Pomiędzy nimi istnieje podział na protokoły wykorzystywane w lotnictwie cywilnym (ARINC-429, AFDX) oraz w lotnictwie wojskowym (MIL-STD-1553B, Hi-Per 1553, STANAG-3910).

Literatura

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

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010-2012 jako projekt badawczy.

**INTEGRATED AVIONICS SYSTEMS – TYPE OF INTEGRATION
AND DATA TRANSMISSION STANDARDS****A b s t r a c t**

The paper has been intended to present types of integrated avionics systems: distributed analogue architecture, distributed digital architecture, federated digital architecture, integrated modular architecture (also digital). Presented short description of selected data transmission types used to integration of avionics: ARINC-429, MIL-STD-1553B, STANAG-3910, Hi-Per 1553, AFDX, Ethernet.

Złożono w Oficynie Wydawniczej w sierpniu 2011 r.