Warstwa fizyczna NBASE-T

Wprowadzenie

Porównanie mediów transmisyjnych i standardów od 1GigE do 100GigE na przykładzie rozwiązań Emergent Vision Technologies. https://emergentvisiontec.com

Spis treści

WPROWADZENIE 1
STANDARDY OPARTE NA MIEDZI I ZŁĄCZU RJ45 (1GIGE DO 10GIGE) 2
STANDARDY SFP+ I PRZEJŚCIE NA OPTYKĘ (10GIGE) 2
ULTRA-SZYBKA GENERACJA: SFP28 (25GIGE) ORAZ QSFP28 (50GIGE I 100GIGE) 3
Warianty fizyczne okablowania dla interfejsu QSFP28 (100GigE): 3
ZESTAWIENIE PARAMETRÓW WARSTWY FIZYCZNEJ 4

© A1Pixel sp z o.o. ul. Krasińskiego 15/3, 87-100Toruń, Polska, www.a1pixel.pl ,

Standardy oparte na miedzi i złączu RJ45 (1GigE do 10GigE)

Warstwa fizyczna (PHY) interfejsów GigE Vision w kamerach przemysłowych ewoluowała od prostych, powszechnych kabli sieciowych do wysoce zaawansowanych technologii światłowodowych i wielokanałowych znanych z centrów danych. Firma Emergent Vision Technologies (EVT) stała się pionierem tej transformacji, wdrażając interfejsy wysokonapięciowe i optyczne w celu przełamania fizycznych barier prędkości.

Miedź i złącza RJ45 stanowią historyczny fundament systemów Machine Vision. Sygnał w tych standardach przesyłany jest w sposób elektryczny jako napięcie różnicowe po dedykowanych parach skrętek miedzianych (Twisted Pair):

- **1GigE (1000BASE-T):** Wersja podstawowa, oferująca pasmo rzędu ok. 125 MB/s. Wykorzystuje tanie okablowanie Cat5e lub Cat6 o maksymalnej długości do 100 metrów bez konieczności stosowania repeaterów. Charakteryzuje się wysoką odpornością mechaniczną na zgięcia, lecz stanowi krytyczne wąskie gardło dla nowoczesnych matryc wielomegapikselowych.

- **5GigE (5GBASE-T):** Ewolucja standardu miedzianego (NBASE-T). Pozwala na przesył danych z prędkością do 40 klatek na sekundę dla matrycy 12 MP przy użyciu standardowej, istniejącej infrastruktury kablowej Cat6.

- **10GigE NBASE-T (10GBASE-T):** Wymaga zaawansowanego okablowania ekranowanego i uziemionego klasy Cat6A lub Cat7. Wykorzystuje złożone kodowanie PAM16 (Pulse Amplitude Modulation). Do wad tego rozwiązania w aplikacjach wysokiej prędkości należy wysoki pobór mocy i generowanie dużych ilości ciepła przez układ PHY wewnątrz kamery (wymaga masywnych radiatorów). Co więcej, miedź na tej częstotliwości staje się podatna na zakłócenia elektromagnetyczne (EMI) generowane w środowisku fabrycznym przez falowniki czy silniki.

Standardy SFP+ i Przejście na Optykę (10GigE)

W celu eliminacji wad transmisyjnych miedzi, w profesjonalnych kamerach 10GigE wprowadzono modułowe gniazda SFP+ (Small Form-factor Pluggable). Kamera zamiast stałego portu RJ45 posiada uniwersalny 'koszyk', w którym instaluje się wymienny moduł nadawczo-odbiorczy (transceiver):

- **Połączenie Światłowodowe (SFP+ Optical):** Sygnał przesyłany jest za pomocą lasera (850 nm dla światłowodów wielomodowych MMF OM3/OM4 lub 1310 nm dla jednomodowych SMF) podłączanego najczęściej przez złącze LC Duplex. Gwarantuje to 100% odporności na zakłócenia elektromagnetyczne (EMI), znaczące obniżenie temperatury pracy kamery oraz zasięg od 300 metrów do nawet kilkunastu kilometrów.
- **Połączenie Miedziane Direct Attach Copper (DAC):** Specjalny, fabrycznie zintegrowany kabel miedziany Twinaxial wyposażony bezpośrednio we wtyki o kształcie modułów SFP. Wykorzystywany na krótkich dystansach (1 do 7 metrów), charakteryzuje się minimalnym opóźnieniem (latency) oraz skrajnie niskim poborem prądu.

Ultra-szybka generacja: SFP28 (25GigE) oraz QSFP28 (50GigE i 100GigE)

Dla prędkości transmisji przekraczających 10 Gbps, standardy miedziane RJ45 w systemach wizyjnych praktycznie przestają istnieć z powodu fizycznych ograniczeń tłumienia sygnału wysokiej częstotliwości w miedzi. Nowoczesne systemy opierają się na architekturze wielokanałowej.

- **SFP28 (25GigE):** Konstrukcyjnie kompatybilny wstecznie z SFP+, jednak zmodernizowany elektronicznie do obsługi pojedynczej linii transmisyjnej o częstotliwości 25 Gbps. Stosowany m.in. w serii kamer Emergent Zenith, gdzie pozwala osiągnąć 188 fps przy rozdzielczości 12 MP bez żadnej kompresji.

- **QSFP28 (50GigE & 100GigE):** Przedrostek 'Q' oznacza Quad (czterokrotny). To fizycznie większe złącze, które w swojej strukturze mieści cztery niezależne linie transmisyjne (lanes) wysokiej częstotliwości. Standard 50GigE agreguje dwie linie po 25 Gbps (lub kodowanie PAM4), natomiast flagowy standard 100GigE uruchamia pełne 4 linie x 25 Gbps pracujące w sposób równoległy.

Warianty fizyczne okablowania dla interfejsu QSFP28 (100GigE):

1. Światłowód MPO/MTP (Wielomodowy): Zamiast tradycyjnej pary włókien, wtyk MPO posiada fizyczny rząd 12 równoległych mikrowłókien szklanych (4 linie nadawcze, 4 odbiorcze, 4 nieaktywne). Umożliwia to równoległą transmisję na dystansie do 100 metrów.

2. Światłowód LC WDM (Jednomodowy): Wykorzystuje zaawansowaną technologię multipleksacji fali (Wavelength Division Multiplexing). Cztery niezależne lasery o minimalnie różnych długościach fali ('kolorach światła') są wtłaczane w jedno fizyczne, standardowe włókno jednomodowe, a następnie rozdzielane optycznie wewnątrz wkładki. Zapewnia to zasięg transmisji do 10 kilometrów.

3. Kable QSFP28 DAC (Miedź): Ekranowane kable miedziane Twinaxial o dużej średnicy, łączące bezpośrednio gniazdo QSFP28 kamery z dedykowaną kartą przechwytującą NIC w stacji roboczej. Ze względu na drastyczne tłumienie fal o częstotliwościach rzędu gigaherców, ich długość jest sztywno ograniczona do maksymalnie 3–5 metrów.

Zestawienie parametrów warstwy fizycznej

Poniższa tabela przedstawia zestawienie kluczowych parametrów i wymagań fizycznych dla poszczególnych standardów transmisyjnych stosowanych w kamerach przemysłowych. Zgodnie z wymaganiami projektowymi, zachowano czarno-białą kolorystykę tabeli:

Interfejs	Typ złącza	Medium transmisyjne	Konfiguracja linii (Lanes)	Wrażliwość na EMI / Ciepło
1GigE	RJ45	Miedź (Cat5e / Cat6)	1 linia	Niska / Minimalne
10GigE (NBASE-T)	RJ45	Miedź (Cat6A / Cat7)	1 linia (PAM16)	Wysoka / Bardzo wysokie
10GigE (SFP+)	SFP+ / LC Duplex	Światłowód (MMF/SMF) lub DAC	1 linia x 10 Gbps	Brak (optyka) / Niskie
25GigE	SFP28 / LC Duplex	Światłowód (OM4/SMF) lub DAC	1 linia x 25 Gbps	Brak (optyka) / Niskie
100GigE	QSFP28 / MPO lub LC	Światłowód (MPO lub WDM) / DAC	4 linie x 25 Gbps	Brak (optyka) / Niskie

Moduły transceivera SFP+



10GBase-LC single-mode fiber (SMF).



RJ45.



Kamera Emergent EVT Pace z gniazdem modułu SPF+.